

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

#### Utilisation de la séparabilité dans les modèles énergétiques : conception et programmation

Guillaume, Gilbert; Guiot, Didier

*Award date:*  
1984

*Awarding institution:*  
Université de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX (NAMUR)

Institut d'Informatique

UTILISATION DE LA SEPARABILITE  
DANS LES MODELES ENERGETIQUES:  
CONCEPTION ET PROGRAMMATION

Directeur : F LOUVEAUX

Mémoire présenté en vue  
de l'obtention du grade  
de Licencié et Maître  
en Informatique par

GUILLAUME GILBERT

et

GUIOT DIDIER

année académique 83-84

Qu'il nous soit avant tout permis  
de remercier Monsieur le professeur  
F. Louveaux. Son assistance dévouée,  
ses critiques et ses conseils judicieux  
nous furent d'un très grand secours.  
Qu'il trouve ici l'expression de nos  
plus vifs remerciements.



## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
<u>INTRODUCTION</u>	
<u>PREMIERE PARTIE: POSITION DU PROBLEME</u>	1
<u>CHAPITRE 1: FORMULATION D'UN MODELE DE DEPART:</u>	
<u>MODELE ENERGETIQUE MULTI-PERIODES</u>	2
A. Les secteurs d'activité et leurs équipements	3
1. Approvisionnements en énergie primaire	3
2. Le secteur du charbon	4
3. Le secteur nucléaire	5
4. Le secteur solaire	5
5. Conclusion	6
B. Variables du problème	7
C. Formulation de la fonction objectif	8
D. Formulation des contraintes	12
1. Contraintes de capacité	12
2. Contraintes de demande	12
3. Contraintes d'extraction et d'importation	13
4. Contraintes de disponibilité en ressources	14
5. Contrainte d'équilibre du charbon	14
6. Contraintes nucléaires	14
<u>CHAPITRE 2: MODIFICATION DU MODELE DE DEPART:</u>	
<u>INTRODUCTION DE VARIABLES DE FONCTIONNEMENT</u>	17
A. Formulation des nouvelles contraintes	18
1. Contraintes de dépassement de capacité	18
2. Contraintes liées à la disponibilité de ressources	18



3.Contraintes de demande	19
4.Contrainte d'équilibre du charbon	19
5.Contraintes nucléaires	19
6.Contraintes d'accroissement de capacité	20
B.Formulation de la nouvelle fonction objectif	21
<u>DEUXIEME PARTIE:DE L'APPROCHE CLASSIQUE VERS</u>	
<u>UNE APPROCHE "BLOCS SEPARABLES"</u>	22
<u>CHAPITRE 3: DE L'APPROCHE CLASSIQUE VERS UNE APPROCHE</u>	
<u>"BLOCS SEPARABLES"</u>	23
A.Approche classique	23
1.Approche par scénarios	23
2.Programmes stochastiques multi-périodes	23
B.Approche blocs séparables	25
1.Notions de séparabilité (blocs séparables)	25
2.Séparabilité dans notre modèle	26
<u>TROISIEME PARTIE:RESOLUTION DU SOUS-PROBLEME DETAILLE</u>	
<u>CHAPITRE 4: LA SOLUTION:VERS UNE SIMPLIFICATION</u>	
<u>DU PROBLEME PAR DECOMPOSITION ET</u>	
<u>RECHERCHE DE PRIORITES</u>	31
A.Approche classique de solution:méthode de Kuhn et Tucker	32
1.Principes de la méthode de Kuhn et Tucker	32
2.Problème à résoudre	33
3.Limites de la résolution classique du problème par la méthode de Kuhn et Tucker	35
B.Généralisation et décomposition du problème	43
1.Généralisation du problème	43
2.Décomposition du modèle	45

1) Sous-problème 1 : équipements nucléaires	45
a. Hypothèses	45
b. Formulation du sous-problème	46
2) Sous-problème 2 : équipements restants	47
a. Hypothèses	47
b. Formulation du sous-problème	47
3) Conclusion	48
<u>CHAPITRE 5: RESOLUTION DU SOUS-PROBLEME NUCLEAIRE</u>	51
1. Conditions de Kuhn et Tucker	52
2. Solutions du sous-problème nucléaire :	
justification du caractère optimal de ces solutions	55
3. Partition de l'ensemble des solutions	67
<u>CHAPITRE 6: RESOLUTION DU SOUS-PROBLEME RELATIF AUX</u>	
<u>EQUIPEMENTS NON NUCLEAIRES</u>	73
1. Conditions de Kuhn et Tucker	74
2. Classements par priorités des équipements	
électriques et non électriques	76
3. Solutions du sous-problème :	
justification du caractère optimal de ces solutions	
et expression de leur région de confiance	79
<u>CONCLUSION</u>	115
<u>ANNEXES</u>	
Annexe 1 : compléments à la résolution du sous-problème	
non nucléaire	A1
Annexe 2 : programmation	A19
a) routines du programme	A20
b) organigramme du programme	A25



c) programme relatif aux équipements nucléaires

A27

d) exemples

A34



## INTRODUCTION

L'incertitude joue un rôle important dans les modèles énergétiques à long terme.

Une façon habituelle de la prendre en compte consiste à définir un certain nombre d'alternatives, c'est-à-dire construire un arbre de décision.

Les approches classiques de programmation nous obligent à décrire le problème sous forme extensive (description complète du modèle en chaque noeud de l'arbre). Elles apparaissent donc peu pratiques, surtout lorsqu'on est en face d'un modèle multi-périodes dont le nombre d'aléas est élevé et dont les variables et contraintes sont nombreuses. C'est pourquoi, il existe peu de modèles énergétiques stochastiques avec optimisation.

Si l'on veut résoudre un modèle stochastique à long terme, il faut donc user de techniques particulières. L'utilisation de la propriété de "blocs séparables" que les programmes stochastiques multi-périodes possèdent naturellement ou peuvent être amenés à posséder, en est une.

Si le problème est vu comme un ensemble de sous-problèmes définis en chaque noeud de l'arbre de décision, la propriété de "blocs séparables" signifie premièrement, que le vecteur de décision de chaque sous-problème est formé de deux vecteurs; un vecteur de niveau global et un vecteur de niveau détaillé, et deuxièmement que la fonction objectif et les contraintes sont, relativement à ces deux vecteurs, mathématiquement séparables.

Dans ce mémoire, nous utilisons cette propriété dans un cas précis de modèle énergétique, rassemblant des technologies électriques et non électriques utilisées pour satisfaire les demandes en énergie.

La séparabilité nous permettra de définir deux sous-problèmes, l'un détaillé traitant des opérations courantes (de la période), l'autre global, traitant des opérations à long terme (investissements).

L'objet de ce travail est de résoudre le sous-problème détaillé. Sa résolution permettrait de faire un grand pas dans la résolution du problème complet.

La structure de mémoire est la suivante.

Dans la première partie, nous définissons un modèle énergétique multi-périodes, point de départ de notre travail.

Dans la seconde partie, nous soulignons les difficultés d'une approche classique de résolution et exprimons les conditions d'une approche "blocs séparables".

La troisième partie, la plus importante traite de la résolution du sous-problème détaillé. Comme nous le verrons, celui-ci consiste à maximiser une fonction quadratique concave soumise à un système de contraintes linéaires. Une décomposition du sous-problème et la recherche de priorités dans les technologies utilisées nous permettront de simplifier la résolution. Pour garantir l'intérêt du travail, nous généraliserons d'abord le modèle de départ en opérant sur un nombre quelconque d'équipements.



PREMIERE PARTIE

POSITION DU PROBLEME



## CHAPITRE I

### FORMULATION D'UN MODELE DE DEPART :

#### MODELE ENERGETIQUE MULTI-PERIODES

Dans ce chapitre, nous allons décrire de façon précise le modèle qui servira de base à notre travail. Celui-ci se situe dans le cadre du développement énergétique.

Le modèle rassemble un certain nombre d'équipements appartenant à différents secteurs d'activité et ayant pour but la production ou la conversion de l'énergie.

Les équipements choisis ne font évidemment pas le tour de toutes les techniques existantes. Cependant nombre d'équipements contribuent de la même façon à la fonction objectif et sont soumis aux mêmes types de contraintes, d'où l'intérêt d'un choix limité d'équipements représentatifs.

Les autres techniques ou activités, liées à d'autres ressources seront prises en compte dans une généralisation du modèle au chapitre quatre.

Nous nous attacherons également à la définition de la fonction objectif et des contraintes ainsi qu'à leur formulation mathématique.

On remarquera à ce niveau, la présence de variables et de contraintes (variables de décision d'investissements, contraintes de transfert de capacités d'une période à la suivante) faisant de notre modèle un problème de programmation multi-périodes.

# A) Les secteurs d'activité et leurs équipements.

## 1. Les approvisionnements en énergie primaire.

Le secteur concerne la production des énergies de base telles le pétrole, le gaz, le charbon et l'uranium.

Les techniques envisagées sont souvent des techniques d'extraction ou des procédés d'importation de ces ressources.

Certaines ressources sont converties par des technologies appropriées (charbon); d'autres (pétrole) contribuent directement à la satisfaction de la demande en énergie.

Nous envisageons les activités suivantes (avec en regard l'unité correspondante).

activités	unité
OLTRD : importation de pétrole	PCAL ( $=10^{15}$ calories)
OLEX : extraction de pétrole	PCAL
HCTRD : importation de charbon brut	PCAL
HCEX : extraction de charbon brut	PCAL
NUEX : extraction d'uranium	PCAL

A chacune de ces activités correspondent des facteurs techniques ou économiques :

- 1) IC : coût d'investissement
- 2) FC : coût fixe
- 3) VC : coût variable (de fonctionnement)
- 4) TL : durée de vie technique
- 5) UR : taux d'utilisation de l'équipement
- 6) CE : coefficient de conversion (dû à des différences d'unité)



## 2. Le secteur du charbon.

Le charbon a toujours occupé une place très importante dans la politique énergétique de la CEE, même si aujourd'hui, il est quelque peu en perte de vitesse. Son utilisation dans les secteurs énergétiques fait l'objet de nombreuses techniques : on citera à titre d'exemple les procédés nouveaux de liquéfaction ou de gazéification du charbon (procédés de conversion du charbon en énergies non électriques : fabrication de carburants, élaboration de gaz substitués du gaz naturel, fabrication de gaz de synthèse destinés à l'industrie chimique, ...). Le charbon voit également son utilisation dans la production d'électricité et il n'est pas rare de remarquer l'usage du charbon dans les centrales électriques.

Dans notre modèle, nous retiendrons deux équipements énergétiques de traitement du charbon; le premier sera utilisé à des fins non électriques et sera un procédé de liquéfaction du charbon brut, le second sera un procédé de génération d'électricité.

Nous les noterons :

techniques	unité
HCPWS : utilisation du charbon dans la production d'électricité	GWY ( $= 10^9$ watt/année)
HCLIQ : liquéfaction du charbon	PCAL ( $= 10^{15}$ calories)

Les facteurs techniques et économiques associés à ces équipements sont les mêmes que dans le secteur d'approvisionnement.



### 3. Le secteur nucléaire.

Les dernières années ont été marquées par une augmentation de la part de l'électricité dans la demande finale d'énergie. Dans cette production, l'électricité d'origine nucléaire prend de plus en plus le pas sur l'approvisionnement des centrales électriques par le charbon, les fuels ou le gaz.

Les centrales nucléaires renferment trois types différents de réacteurs qui constitueront autant d'équipements au sein de notre modèle:

- Le réacteur à haute température (HTR) qui est un réacteur thermique fonctionnant à l'uranium et refoulant de l'uranium pouvant être recyclé.
- Le réacteur à eau pressurisée (PWR) brûlant aussi bien de l'uranium que du plutonium et déchargeant de ces deux matières.
- Le réacteur auto-générateur (FBR) brûlant et refoulant du plutonium.

L'unité correspondante de ces trois équipements est évidemment celle d'un équipement producteur d'électricité, à savoir GWY ( $10^9$  watt/année). On note également la présence des facteurs techniques et économiques définis au point 1.

### 4. Le secteur solaire.

L'énergie solaire constitue certainement une source d'approvisionnement qu'il ne faut pas négliger dans notre modèle. Son usage en est surtout fait dans le secteur de la production électrique (centrales utilisant les cellules photovoltaïques, centrales de conversion de l'énergie solaire en électricité) et dans une moindre mesure dans le secteur domestique (panneaux solaires).

La façon dont ces équipements contribuent à la fonction objectif est fort semblable et les contraintes qui leur sont associées sont toutes d'un même type; c'est pourquoi nous n'envisageons pour le moment qu'une seule technologie.

technique	unité
STEC : équipement de conversion soleil-électricité	GWY ( $10^9$ watt/année)

### 5. Conclusion.

Nous pouvons reprendre les équipements et activités décrits ci-dessus et les ranger selon leur utilisation.

- Les installations génératrices d'électricité (contribuent à la satisfaction de la demande électrique).

$$\text{ELEC} = \{\text{HCPWS}, \text{PWR}, \text{HTR}, \text{FBR}, \text{STEC}\}$$

- Les équipements ou activités contribuent à la satisfaction de la demande en énergie non électrique.

$$\text{NELE} = \{\text{OLEX}, \text{OLTRO}, \text{HCLIQ}\}$$

- Les activités intermédiaires :

HCEX, HCTRD, NUEX.



## B) Variables du problème.

La formulation de la fonction objectif et des contraintes nécessite la définition préliminaire de variables qui sont soit des variables de décision, soit des variables d'état.

Soit  $i=1, \dots, 11$  : index de l'ensemble des 11 équipements.

### Variables de décision.

$DEL^t$  : demande en énergie électrique durant la période  $t$ .

$DNE^t$  : demande en énergie non électrique durant la période  $t$ .

$D_i^t$  : décision d'accroissement de capacité de l'équipement n°  $i$  durant la période  $t$  (investissement).

$Pu_{in}^t$  : quantité annuelle de plutonium nécessaire au fonctionnement d'un PWR.

$UR_{in}^t$  : quantité annuelle d'uranium nécessaire au fonctionnement d'un PWR.

### Variables d'état.

$C_i^t$  : capacité de l'équipement n°  $i$  durant la période  $t$ .

$E_i^t$  : quantité de la ressource  $i$  extraite ou importée jusqu'à la période  $t$ .

$URST^t$  : état du stock d'uranium durant la période  $t$ .

$PUST^t$  : état du stock de plutonium durant la période  $t$ .



### C) Formulation de la fonction objectif.

L'objectif poursuivi est un objectif économique; il consiste à satisfaire les demandes en énergies électrique et non électrique à leur niveau maximum à partir des technologies dont nous disposons.

Il nous faut donc considérer l'impact de ces équipements sur la production sans oublier les coûts d'investissement et de fonctionnement.

Nous rappelons ci-dessous, en les numérotant, les équipements présents dans notre modèle.

numéro (i)	équipement	unité
1	HCPWS	GWY
2	HCLIQ	PCAL
3	FBR	GWY
4	PWR	GWY
5	HTR	GWY
6	OLEX	PCAL
7	OLTRD	PCAL
8	HCEX	PCAL
9	HCTRD	PCAL
10	NUEX	PCAL
11	STEC	GWY

Les technologies 1,3,4,5 et 11 contribuent à la satisfaction de la demande électrique.

Les technologies 2,6 et 7 contribuent à la satisfaction de la demande non électrique.

Nous ne rappellerons que les grandes lignes de l'élaboration de la fonction objectif; une justification et une explication des quantités utilisées peuvent être trouvées dans (1).

Comme nous l'avons déjà dit, la fonction objectif prend en compte :

- la satisfaction de la demande électrique et non électrique.
- la minimisation des coûts.

On doit encore ajouter :

- le coût de stockage des matières nucléaires.

L'expression de la satisfaction des demandes en énergie à partir des techniques de production est une fonction quadratique et concave en les variables  $DEL^t$  et  $DNE^t$ , elle s'écrit :

$$S = C_1' \cdot DEL^t + C_2' \cdot DNE^t - \frac{1}{2} \cdot C_{11} \cdot (DEL^t)^2 - C_{12} \cdot DEL^t \cdot DNE^t - \frac{1}{2} \cdot C_{22} \cdot (DNE^t)^2$$

$$\text{où } \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{12} & C_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,23 & 0,0114 \\ 0,0114 & 0,0052 \end{vmatrix}$$

est une matrice semi-définie positive, comme on peut le remarquer, cette matrice garantit la concavité de la fonction.

$$C_1' = 740,7$$

$$C_2' = 48,49$$

Ces valeurs rendent bien compte de la part de l'électricité dans les besoins en énergie.



Les coûts unitaires de production des différents équipements sont les coefficients des capacités. Ils ont la forme suivante:

$$\frac{\rho \quad IC}{1 - (1 + R)^{-TL}} + \beta \cdot (FC + UR \cdot VC)$$

où IC = coût d'investissement

FC = coût fixe

VC = coût variable (de fonctionnement)

UR = taux d'utilisation

TL = durée de vie technique

R = taux annuel de dévaluation ( 5 %)

$\rho = (1 + R)^{NAN} - 1$  (= 0,276)

avec NAN : longueur de la période en années  
(ici NAN = 5)

$\beta$  = facteur de correction résultant de la transformation d'un coût annuel en un coût portant sur une période de 5 ans.

$$\beta = \sum_{n=1}^5 \frac{1}{(1 + R)^{n-1}} = 4,54$$

Dans la fonction objectif, le montant total des coûts de production intervient de façon négative.

Il nous reste à faire état des coûts de stockage des matières nucléaires.

coût unitaire de stockage du plutonium : SC' = 0,020

coût unitaire de stockage de l'uranium : SC = 0,015

Nous trouverons dans le tableau qui suit les différentes valeurs des facteurs techniques et économiques associés aux équipements ainsi que les unités correspondantes.

Tableau de données

. Equipements	10 <sup>6</sup> . ECU (*)			années		unité de production
	IC	FC	VC	TL	UR	
1) HCPWS	500	15	10	30	0,80	GWY
2) HCLIQ	80	0	2	20	0,85	PCAL
3) FBR	1200	20	0	25	0,75	GWY
4) PWR	900	20	0	25	0,75	GWY
5) HTR	1000	20	0	25	0,75	GWY
6) OLEX	22	0	2	10	0,95	PCAL
7) OLTRD	0	0	16	/	0,99	PCAL
8) HCEX	14	3	4	30	0,98	PCAL
9) HCTRD	0	0	8	/	0,99	PCAL
10) NUEX	0,1	0,002	0,037	25	0,98	Tonne
11) STEC	1700	0	0	20	0,14	GWY

(\*) un écu (78) = 41 Frs

un écu (84) = 48 Frs

Coéfficients de conversion :  $CE_1 = 0,36$

$CE_2 = 0,69$

La fonction objectif est la suivante

$$\begin{aligned}
 \text{Maximiser } F = & \beta \cdot C_1' \cdot DEL^t + C_2' \cdot DNE^t - \frac{1}{2} \cdot C_{11} \cdot (DEL^t)^2 \\
 & - C_{12} \cdot DEL^t \cdot DNE^t - \frac{1}{2} \cdot C_{22} \cdot (DNE^t)^2 \\
 & - \sum_{i=1}^{11} \left( \frac{\rho \cdot IC}{1 - (1 + R)^{TL}} + \beta \cdot (FC + UR \cdot VC) \cdot C_i^t \right) \\
 & - \beta \cdot SC \cdot URST^t - \beta \cdot SC' \cdot PUST^t
 \end{aligned}$$



## D) Formulation des contraintes.

### 1. Contraintes de capacité.

D'une période à l'autre, les capacités des équipements subissent des changements, qui sont liés à la durée de vie technique (usure) ou qui résultent de décisions d'accroissement de capacités (investissements).

La représentation des modifications subies par les capacités d'une période à l'autre est la suivante :

$$C_i^t = DF(i) \cdot C_i^{t-1} + D_i^t$$

où  $DF(i)$  = facteur de dégénérescence de l'équipement n°i, relatif à une période et portant sur les capacités.

$$DF(i) = 1 - \frac{5}{TL(i)}$$

### 2. Contraintes de demande.

Les demandes électrique et non électrique sont satisfaites par le biais respectif des équipements producteurs d'électricité et des équipements producteurs d'énergie non électrique.

Les capacités cumulées de ces technologies se doivent donc d'être supérieures aux quantités d'énergie demandées.

Nous pouvons donc écrire :

$$1) \quad DEL^t \leq \sum_{(k \in ELEC)} UR(k) \cdot C_k^{t-\delta(k)}$$

où ELEC = (HCPWS, FBR, PWR, HTR, STEC)

UR(k) = taux d'utilisation de la k<sup>ième</sup> technique

$\delta(k)$  = nombre de périodes nécessaires à la construction de l'équipement n°k

$\delta(k) = 2$  pour  $k = 3, 4, 5$

$\delta(k) = 1$  pour  $k = 1, 2, 6, 7, 8, 10, 11$

$\delta(k) = 0$  pour  $k = 9$

$$2) \quad DNE^t \leq \sum_{(k \in NELE)} UR(k) \cdot C_k^{t-\delta(k)} + d_{HC}^t$$

où NELE = (HCLIQ, OLTRD, OLEX)

$d_{HC}^t$  = demande domestique en charbon.

### 3. Contraintes d'extraction et d'importation.

Les égalités qui suivent sont l'expression des quantités de ressources extraites ou importées pendant la période t.

$$E_i^t = E_i^{t-1} + 5 \cdot UR(i) \cdot C_i^{t-\delta(i)}$$

où  $i \in \{OLTRD, OLEX, HCTRD, HCEX, NUEX\}$

le facteur 5 est dû au fait que les capacités sont exprimées en PCAL ou GW par année.

$E_i^t$  = quantité de ressource i extraite ou importée jusqu'à la période t.



#### 4. Contraintes de disponibilité en ressources.

Il est facile à comprendre que les quantités de ressources extraites ou importées sont bornées supérieurement par les quantités effectivement disponibles de ces ressources d'où

$$E_i^t \leq RQ(i)$$

où  $RQ(i)$  exprime la disponibilité de la ressource  $i$ .

#### 5. Contrainte d'équilibre du charbon.

Les quantités de charbon utilisées à la liquéfaction, à la production d'électricité et à la demande domestique sont inférieures aux quantités de charbon importé et extrait.

$$\sum_{k \in \{HCTRD, HCEX\}} UR(k) \cdot C_k^{t-\delta(k)} > \sum_{k \in \{HCLIQ, HCPWS\}} \frac{UR(k)}{CE(k)} \cdot C_k^{t-\delta(k)} + d_{HC}^t$$

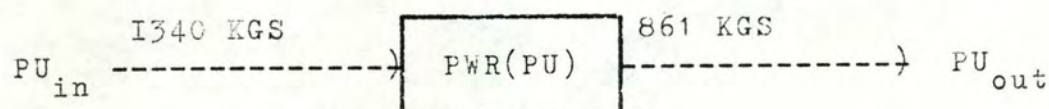
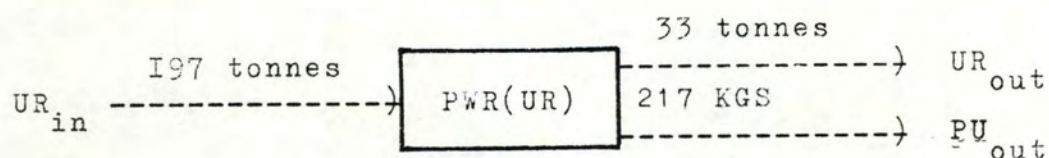
où  $CE(k)$  = coefficient de conversion

$d_{HC}^t$  = demande domestique en charbon.

#### 6. Contraintes nucléaires.

##### a) Cycles de l'uranium et du plutonium dans les réacteurs nucléaires

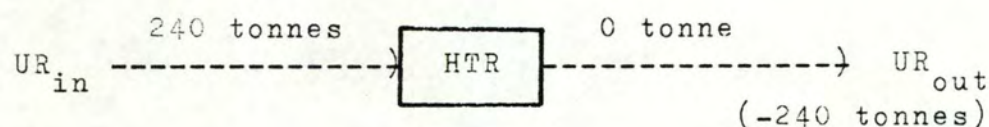
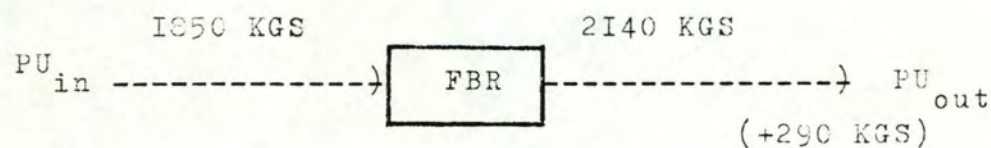
Les schémas ci-dessous donnent les quantités en plutonium et (ou) uranium brûlées et refoulées par les trois réacteurs : PWR, FBR et HTR. Ce sont les quantités nécessaires à la production d'un GWh d'électricité.

1. PWR.

De ces deux schémas, on tire les équations :

$$1) UR_{out} = 0,17 \cdot UR_{in}$$

$$2) PU_{out} = 1,10 \cdot UR_{in} + 0,64 PU_{in}$$

2. HTR.3. FBR.

Le fonctionnement du PWR aussi bien à l'uranium qu'au plutonium nous oblige à définir la contrainte d'équilibre.

$$PU_{in} + 6,8 \cdot UR_{in} - 1340 UR(4) C_4^{t-2} = 0$$

qui explicite l'apport respectif du plutonium et de l'uranium dans la génération d'électricité.



b) Contraintes de stock.

Le stock d'uranium est alimenté par les quantités extraites de cette matière et est desservi par les utilisations d'uranium dans le PWR et le HTR :

$$\begin{aligned} \text{URST}^t = & \text{URST}^{t-1} + \text{NAN} \cdot \text{UR}(10) \cdot C_{10}^{t-1} - 0,83 \cdot \text{NAN} \cdot \text{UR}_{\text{in}} \\ & - 240 \cdot \text{NAN} \cdot \text{UR}(\text{HTR}) \cdot C_5^{t-2} . \end{aligned}$$

où les coefficients

. 0,83 résulte de l'équation 1 du point a.1

. 240 résulte du point a.2

NAN = 5

Le stock de plutonium est alimenté par le plutonium dégagé par la combustion de l'uranium dans le PWR, par le surplus de plutonium refoulé par le FBR et est desservi par son utilisation dans le PWR

$$\begin{aligned} \text{PUST}^t = & \text{PUST}^{t-1} + 1,10 \cdot \text{NAN} \cdot \text{UR}_{\text{in}} - 0,36 \cdot \text{NAN} \cdot \text{PU}_{\text{in}} \\ & + 290 \cdot \text{NAN} \cdot \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} \end{aligned}$$

où les coefficients

0,36 ; 1,1 résultent de l'équation 2 du point a.1

290 résulte du point a.3

Il nous reste à imposer aux stocks de rester positif.

$$\text{PUST}^t \geq 0$$

$$\text{URST}^t \geq 0$$

## CHAPITRE 2

### MODIFICATION DU MODELE DE DEPART :

#### INTRODUCTION DE VARIABLES DE FONCTIONNEMENT.

Dans le modèle décrit précédemment, on remarque que chacun des équipements  $i$  est utilisé en quantité  $UR(i) \cdot C_i^{t-\delta(i)}$ .

On se voit donc obligé d'exploiter les technologies dont on dispose à leur pleine valeur sans se préoccuper de l'état de satisfaction des demandes électrique et non électrique.

Il serait intéressant de relâcher cette exigence de façon à permettre une utilisation partielle des équipements.

Pour cela, nous allons remplacer dans notre modèle les variables de capacité par des variables dites de fonctionnement.

Il résulte évidemment de cela une nouvelle définition de la fonction objectif en même temps qu'un nouveau système de contraintes beaucoup plus grand.



## A) Formulation des nouvelles contraintes.

### 1. Contraintes de dépassement de capacité.

Considérons les variables de fonctionnement  $F_i^t$  en remplacement des quantités  $UR(i) \cdot C_i^{t-\delta(i)}$ .

L'introduction de telles variables nous oblige à formuler un nouveau type de contraintes. Celles-ci expriment l'utilisation partielle des équipements.

On obtient ainsi le système suivant :

$$F_i^t \leq UR(i) \cdot C_i^{t-\delta(i)} \quad 1 \leq i \leq 11$$

exemples	HCPWS	$\implies$	$F_1^t \leq 0,8 \cdot C_1^{t-1}$
	FBR	$\implies$	$F_3^t \leq 0,75 \cdot C_3^{t-2}$

### 2. Contraintes liées à la disponibilité de ressources.

Dans le modèle de départ nous avions

$$1^\circ \quad E_i^t = E_i^{t-1} + 5 \cdot UR(i) \cdot C_i^{t-1} \quad 6 \leq i \leq 10$$

$$2^\circ \quad E_i^t \leq RQ(i)$$

Les relations 1° et 2° et la substitution de  $F_i^t$  à  $UR(i) \cdot C_i^{t-\delta(i)}$  nous permettent de définir le système de contraintes.

$$F_i^t \leq \frac{RQ(i) - E_i^{t-1}}{5} \quad 6 \leq i \leq 10$$

où le membre de droite est une constante connue

$$\begin{array}{lcl} \text{exemples} & \text{OLEX} & \implies F_6^t \leq \frac{62 - E_6^{t-1}}{5} \\ & \text{HCTRD} & \implies F_9^t \leq \frac{1000 - E_9^{t-1}}{5} \end{array}$$

### 3. Contraintes de demande.

Il est clair que l'on va pousser la production en énergie électrique ou non électrique jusqu'à satisfaction des demandes et pas plus loin (toute quantité supplémentaire nuierait à la fonction objectif (fonction concave en  $\text{del}^t$  et  $\text{dne}^t$ )).

On peut alors écrire :

$$1) \quad \text{DEL}^t = \sum_i F_i^t \quad i \in \{1, 3, 4, 5, 11\}$$

$$2) \quad \text{DNE}^t = \sum_i F_i^t + d_{\text{HC}}^t \quad i \in \{2, 6, 7\}$$

### 4. Contrainte d'équilibre du charbon.

Rappelons que cette contrainte exprime que les apports en charbon sont supérieurs aux usages qui en sont faits :

$$F_8^t + F_9^t > \frac{1}{\text{CE}_1} F_1^t + \frac{1}{\text{CE}_2} F_2^t + d_{\text{HC}}^t$$

### 5. Contraintes nucléaires.

$$1) \quad \text{PUST}^t = \text{PUST}^{t-1} + 5,5 \text{ UR}_{\text{in}} - 1,8 \text{ PU}_{\text{in}} + 1450 \cdot F_3^t$$

$$2) \quad \text{URST}^t = \text{URST}^{t-1} + 5 \cdot F_{10}^t - 4,15 \cdot \text{UR}_{\text{in}} - 1200 \cdot F_5^t$$



$$3) \quad PU_{in} + 6,8 \cdot UR_{in} - 1340 \cdot F_4^t = 0$$

$$4) \quad PUST^t \geq 0, \quad URST^t \geq 0$$

#### 6. Contraintes d'accroissement de capacité.

$$1) \quad C_i^t = DF(i) \cdot C_i^t + D_i^t$$

On fera remarquer ici que les décisions d'accroissement de capacité portent sur les capacités totales.

## B) Formulation de la nouvelle fonction objectif.

### 1. Remarque:

Les coûts de fonctionnement sont liés aux variables  $F_i^t$  tandis que les investissements portent sur les capacités totales.

### 2) Fonction objectif.

$$\begin{aligned} \text{Maximiser } F = & C_1' \cdot \text{DEL}^t + C_2' \cdot \text{DEN}^t - C_{11} \cdot (\text{DEL}^t)^2 \\ & - 2 \cdot C_{12} \cdot \text{DEL}^t \cdot \text{DEN}^t - C_{22} \cdot (\text{DEN}^t)^2 \\ & - \sum_{i=1}^{11} C_i \cdot F_i^t - \sum_{i=1}^{11} B_i \cdot C_i^t \\ & - \text{PUST}^t \cdot \text{SC}' - \text{URST}^t \cdot \text{SC} \end{aligned}$$

$$\text{où } C_1' = 740,7 \quad C_{11} = 0,615 \quad C_{22} = 0,0026$$

$$C_2' = 48,49 \quad C_{12} = 0,0057$$

.Les coefficients  $C_i$  sont les coûts de fonctionnement des équipements  $i$  ( $C_i = \text{CV}$ ).

Rappelons en les valeurs.

$$C_1 = 10 \quad C_2 = 2 \quad C_3 = C_4 = C_5 = 0$$

$$C_6 = 2 \quad C_7 = 16 \quad C_8 = 4 \quad C_9 = 8$$

$$C_{10} = 0,037 \quad C_{11} = 0$$

.Les coefficients  $B_i$  des variables  $C_i^t$  sont liés aux investissements.



DEUXIEME PARTIE

DE L'APPROCHE CLASSIQUE VERS UNE APPROCHE "BLOCS SEPARABLES"

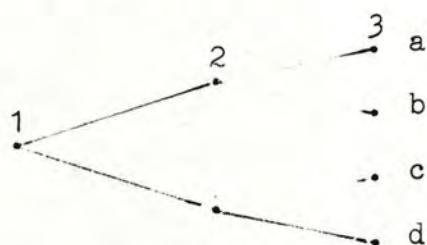
CHAPITRE 3  
DE L'APPROCHE CLASSIQUE  
VERS UNE APPROCHE "BLOCS SEPRABLES"

Nous allons dans ce chapitre essayer de faire ressortir l'intérêt d'une nouvelle approche de résolution des modèles stochastiques multi-périodes. Cette approche utilise la propriété de blocs séparables.

A) APPROCHE CLASSIQUE

1) Approche par scénarios

Considérons ci-dessous, l'arbre de décision d'un problème multi-périodes.



Modèle s'étalant sur 3 périodes et dont chaque décision est soumise à 2 alternatives

Une façon habituelle de résoudre ce genre de problème consiste à associer à chaque noeud de l'arbre de décision un scénario. Ces scénarios permettent de déterminer une solution optimale sur chacun des 4 chemins déterministes a, b, c, d.

A chacun de ces chemins est attribué un certain poids. On construit à partir de là une solution approchée du modèle. Malheureusement, on a pu constater qu'une telle résolution conduisait souvent à une sous-optimisation.

2) Programmes stochastiques multi-périodes

Soit  $\underline{x}_t = (x_1, \dots, x_t)$ , l'ensemble des décisions prises jusque la période  $t$  (la période  $t$  incluse)



Soit  $\underline{\xi}_t = (\xi_1, \dots, \xi_t)$ , l'ensemble des réalisations du vecteur aléatoire vues de la période  $t$ .

Le programme stochastique multi-périodes peut être défini récursivement de la manière suivante :

$$(M. S. P.) \quad \inf \{ Z_1(x_1) \mid x_1 \in D_1 \}$$

$$\text{où} \quad Z_t(\underline{x}_t, \underline{\xi}_t) = C_t(x_t) + E_{\xi_{t+1} | \xi_t} Q_t(\underline{x}_t, \underline{\xi}_{t+1})$$

$$\text{et} \quad Q_t(\underline{x}_t, \underline{\xi}_{t+1}) = \inf Z_{t+1}(\underline{x}_{t+1}, \underline{\xi}_{t+1})$$

sous contraintes

$$x_{t+1} \in F_{t+1}$$

$$T_{t+1} \underline{x}_t + W_{t+1} x_{t+1} = h_{t+1}$$

$$\text{Pour } 0 < t < N-1, \quad Q_n(\underline{x}_n, \xi_{n+1}) = 0$$

$x_{t+1}$  est un vecteur de  $R^n$

$W_{t+1}$  est une matrice de  $m \times n$

$\underline{x}^t$  est un vecteur de  $R^{n \times t}$

$T_{t+1}$  est une matrice  $m \times (n.t)$

On peut montrer que la résolution d'un tel programme est équivalente à la résolution d'une suite emboîtée de programmes déterministes de la forme

$$(D. E. P.)_t \quad \inf Z_t(x_t, \underline{\xi}_t)$$

sous contraintes

$$x_t \in F_t$$

$$T_t \underline{x}_{t-1} + W_t x_t = h_t$$

où  $Z_t(x_t, \underline{\xi}_t)$  est une fonction convexe

Ces programmes sont déterministes en ce sens que vu de la période  $t$ , les événements et décisions passés sont connus.

## B) APPROCHE BLOCS SEPARABLES

### 1) Notions de séparabilité (blocs séparables)

Les approches classiques de programmation nous obligent donc à décrire le problème sous forme extensive (à chaque noeud, il faut résoudre un D. E. P.).

La résolution en devient très difficile, voire impossible si le nombre de périodes et d'aléas est élevé et encore plus si les variables et contraintes sont nombreuses. Si l'on veut résoudre à long terme des problèmes stochastiques, il faut donc user de techniques particulières : une de ces techniques consiste à utiliser la propriété de "blocs séparables" que la plupart des programmes multi-périodes possèdent ou peuvent être amenés à posséder.

#### DEFINITION

Un programme multi-périodes stochastique a la propriété de "blocs séparables" si pour toute période  $t$  et tout événement aléatoire  $\xi_{t+1}$ , le vecteur décision  $x_t$  peut être séparé en 2 sous-vecteurs  $x_t = (w_t, y_t)$  de manière que

- a) la fonction objective  $C_t(x_t)$  est en 2 parties

$$C_t(x_t) = R_t(w_t) + Q_t(y_t)$$

- b) la matrice des contraintes  $W_t$  est

$$W_t = \begin{vmatrix} A_t & 0 \\ 0 & B_t \end{vmatrix}$$

$A_t$  est associé au vecteur  $w_t$

$B_t$  est associé au vecteur  $y_t$

- c) La région  $x_t \in F_t$  est équivalente à

$$\{x_t \in F_t\} = \{w_t \in D_t\} \wedge \{y_t \in E_t\}$$

$w_t$  est appelé le vecteur de décision globale

$y_t$  est appelé le vecteur de décision détaillée



d) Les matrices  $T_t$  et  $h_t$  sont décomposées par rapport au vecteur de séparation  $(w_t, y_t)$ .

De plus,  $T_t$  possède des éléments nuls dans la colonne associée au vecteur de décision détaillé  $y_t$ .

$$T_t = \begin{bmatrix} R_t & 0 \\ S_t & 0 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad h_t = \begin{bmatrix} b_t \\ d_t \end{bmatrix}$$

Le programme multi-périodes stochastique sera en utilisant cette propriété définit comme suit :

$$(BS - MSP) \quad \inf \{ Z_1(w_1) \mid w_1 \in D_1 \}$$

$$\text{où} \quad Z_t(\underline{w}_t, \underline{\varepsilon}_t) = r_t(w_t) +$$

$$E_{\varepsilon_{t+1} | \varepsilon_t} \{ Q_t^w(\underline{w}_t, \underline{\varepsilon}_t) + Q_t^y(\underline{w}_t, \underline{\varepsilon}_t) \}$$

$$\text{et} \quad Q_t^w(\underline{w}_t, \underline{\varepsilon}_t) = \inf Z_{t+1}(w_{t+1})$$

sous contraintes

$$w_{t+1} \in D_{t+1}$$

$$R_{t+1} \underline{w}_t + A_{t+1} w_{t+1} = b_{t+1}$$

$$\text{et} \quad Q_t^y(\underline{w}_t, \underline{\varepsilon}_t) = \inf Q_{t+1}(y_{t+1})$$

sous contraintes

$$y_{t+1} \in E_{t+1}$$

$$S_{t+1} \underline{w}_t + B_{t+1} y_{t+1} = d_{t+1}$$

$$\text{Pour } t = 1, \dots, N-1, Z_1(w_1) = Z_1(w_1, \varepsilon_1)$$

## 2) Séparabilité dans notre modèle

Dans notre modèle énergétique, nous allons traiter indépendamment les opérations courantes, c'est-à-dire les opérations dépendant des actions passées et les opérations à long terme c'est-à-dire les opérations liées au futur. Cette décomposition offre l'avantage de traiter deux problèmes de dimensions réduites.

Le vecteur

$$x_t = (C_i^t, D_i^t, E_j^t, PUST^t, URST^t, F_i^t, PU_{in}, UR_{in})$$

est décomposé en deux sous-vecteurs

$$w_t = (C_i^t, D_i^t, E_j^t, PUST^t, URST^t)$$

Vecteur des opérations à long terme

$$y_t = (F_i^t, PU_{in}, UR_{in})$$

Vecteur des opérations courantes

Pour  $i = 1$  jusque 11

$j = 6$  jusque 10

Comme on le verra dans la résolution du sous-problème détaillé, les variables courantes  $F_i^t$ ,  $UR_{in}$ , et  $PU_{in}$  peuvent être exprimées en fonction des variables

$\underline{C}_i^{t-1}$ ,  $\underline{D}_i^{t-1}$ ,  $\underline{E}_j^{t-1}$ ,  $PUST^{t-1}$ , et  $URST^{t-1}$  formant le vecteur  $w^{t-1}$ .

Dans le cadre de notre modèle, nous définissons ci-dessous les matrices résultant de la définition de la séparabilité.

#### 1° Fonction objectif

$$C_t(x_t) = R_t(w_t) + Q_t(y_t)$$

$$R_t(w_t) = - \sum_{i=1}^{11} B_i \cdot C_i^t - SC' \cdot PUST^t - SC \cdot URST^t$$

$$\begin{aligned} Q_t(y_t) = & C_1' \cdot DEL^t + C_2' \cdot DNE^t - C_{11} \cdot (DEL^t)^2 \\ & - 2C_{12} DEL^t DNE^t - C_{22} (DNE^t)^2 \\ & - \sum_{i=1}^{11} C_i \cdot F_i^t \end{aligned}$$









TROISIEME PARTIE

RESOLUTION DU SOUS-PROBLEME DETAILLE

## CHAPITRE 4

### LA SOLUTION : VERS UNE SIMPLIFICATION

#### DU PROBLEME PAR DECOMPOSITION

#### ET RECHERCHE DE PRIORITES.

La résolution de problèmes de programmation non linéaire, quel que soit leur structure ou leur objet, peut être traitée par des logiciels. Il existe plusieurs méthodes de résolution (méthode de Lagrange, conditions de Kuhn et Tucker).

La méthode de Kuhn et Tucker garantit l'optimalité d'une solution lorsque celle-ci vérifie certaines conditions.

Une façon de résoudre le problème décrit au chapitre deux serait d'écrire un programme d'application de cette méthode. Nous soulignons dans ce chapitre les problèmes que suscitent une telle résolution.

Nous envisageons alors, dans le cadre des modèles énergétiques et plus précisément d'une généralisation de notre modèle, une nouvelle approche de solution. Nous cherchons avant tout à simplifier le problème et sa résolution.

Nous verrons que la décomposition du modèle et le rangement par priorités des équipements y contribuent. La division du problème se fera sur base de certains faits ou hypothèses justifiés dans le contexte du développement énergétique.



A) Approche classique de solution : méthode de Kuhn et Tucker.

1. Principes de la méthode de Kuhn et Tucker.

Les fonctions quelconques de plusieurs variables sont relativement difficiles à analyser, une représentation graphique est même souvent impossible à obtenir. Pour optimiser de telles fonctions, on a souvent recours à des procédures de recherche de l'optimum et fréquemment on obtient qu'une estimation de celui-ci.

Cependant, si une fonction  $F$  en les variables  $(x_1, \dots, x_n)$  a la propriété d'être concave (convexe), le maximum (minimum) peut être obtenu exactement en résolvant le système d'équations fourni par le vecteur gradient

$$\Delta_X F = \begin{bmatrix} \frac{\delta F}{\delta x_1} \\ \vdots \\ \frac{\delta F}{\delta x_n} \end{bmatrix} = 0$$

Notre problème consiste à maximiser une fonction objectif ayant la propriété d'être concave, mais soumise à des contraintes qui sont soit des égalités, soit des inégalités.

On peut démontrer qu'un point  $X^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$  est le maximum de la fonction concave  $F(x)$  soumise aux contraintes  $g_1(X) \leq 0, \dots, g_p(X) \leq 0$  s'il satisfait aux conditions suivantes de Kuhn et Tucker.

$$1) \quad \frac{\delta H}{\delta x_i} = \frac{\delta F(X)}{\delta x_i} - \sum_{j=1}^p \lambda_j \frac{\delta g_j(X)}{\delta x_i} = 0 \quad \text{en } x_i = x_i^* > 0$$

$$\frac{\delta H}{\delta x_i} = \frac{\delta F(X)}{\delta x_i} - \sum_{j=1}^p \lambda_j \frac{\delta g_j(X)}{\delta x_i} < 0 \quad \text{en } x_i = x_i^* = 0$$

Pour  $i = 1, 2, \dots, n$

$$2) \quad \lambda_j g_j(\mathbf{X}) = 0$$

$$3) \quad \lambda_j \geq 0 \quad g_j(\mathbf{X}) \leq 0$$

Pour  $j = 1, 2, \dots, p$

en  $\mathbf{X} = \mathbf{X}^*$

En ce qui concerne les contraintes d'égalité, on aurait :

$$4) \quad \lambda_j g_j(\mathbf{X}) = 0$$

$$\lambda_j \text{ quelconque} \quad g_j(\mathbf{X}) = 0$$

Pour  $j = 1, 2, \dots, q$

en  $\mathbf{X} = \mathbf{X}^*$

## 2. Problème à résoudre.

$$\begin{aligned} \text{Maximiser } F = & C'_1 (F_1^t + F_3^t + F_4^t + F_5^t + F_{11}^t) \\ & + C'_2 (F_2^t + F_6^t + F_7^t) \\ & - C_{11} (F_1^t + F_3^t + F_4^t + F_5^t + F_{11}^t)^2 \\ & - 2C_{12} (F_1^t + F_3^t + F_4^t + F_5^t + F_{11}^t) (F_2^t + F_6^t + F_7^t) \\ & - C_{22} (F_2^t + F_6^t + F_7^t)^2 \\ & - \sum_{i=1}^{11} C_i F_i^t \end{aligned}$$

Sous contraintes

$$(1) \quad \text{DEL}^t = F_1^t + F_3^t + F_4^t + F_5^t + F_{11}^t$$

$$(2) \quad \text{DNE}^t = F_2^t + F_6^t + F_7^t$$

$$3) \quad F_1^t \leq \text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1} \quad (= g_1)$$

$$4) \quad F_2^t \leq \text{UR}(2) \cdot C_2^{t-1} \quad (= g_2)$$



$$5) F_3^t \leq UR(3) \cdot C_3^{t-2} \quad (= g_3)$$

$$6) F_4^t \leq UR(4) \cdot C_4^{t-2} \quad (= g_4)$$

$$7) F_5^t \leq UR(5) \cdot C_5^{t-2} \quad (= g_5)$$

$$8) F_6^t \leq K_6 = \min \left\{ UR(6) \cdot C_6^{t-1}, \frac{RQ(6) - E_6^{t-1}}{5} \right\} (= g_6)$$

$$9) F_7^t \leq K_7 = \min \left\{ UR(7) \cdot C_7^{t-1}, \frac{RQ(7) - E_7^{t-1}}{5} \right\} (= g_7)$$

$$10) F_8^t \leq K_8 = \min \left\{ UR(8) \cdot C_8^{t-1}, \frac{RQ(8) - E_8^{t-1}}{5} \right\} (= g_8)$$

$$II) F_9^t \leq K_9 = \min \left\{ UR(9) \cdot C_9^{t-1}, \frac{RQ(9) - E_9^{t-1}}{5} \right\} (= g_9)$$

$$12) F_{10}^t \leq K_{10} = \min \left\{ UR(10) \cdot C_{10}^{t-1}, \frac{RQ(10) - E_{10}^{t-1}}{5} \right\} (= g_{10})$$

$$13) F_{11}^t \leq UR(11) \cdot C_{11}^{t-1} \quad (= g_{11})$$

$$14) PUST^t = PUST^{t-1} + 5,5 UR_{in} - 1,8 PU_{in} \\ + 1450 F_3^t \geq 0 \quad (= g_{pu})$$

$$15) URST^t = URST^{t-1} + 5 \cdot F_{10}^t - 4,15 UR_{in} \\ - 1200 F_5^t \geq 0 \quad (= g_{ur})$$

$$16) \frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2} = F_8^t + F_9^t \quad (= g_h)$$

$$17) PU_{in} + 6,8 \cdot UR_{in} - 1340 F_4^t = 0 \quad (= g_l)$$

### Remarques

- 1) La demande domestique en charbon est satisfaite en premier lieu et dans sa totalité.

C'est pourquoi nous avons ajusté la contrainte 16 ci-avant en supprimant  $d_{HC}^t$ .

Nous supposons donc que  $DNE^t$  ( demande en énergie non électrique ) ne comprend pas la demande domestique en charbon ( voir contrainte 2 ).

- 2) On remarque à présent que la contrainte 16 est serrée (égalité). Cela est dû au fait que  $F_8^t$  et  $F_9^t$  interviennent de façon négative dans la fonction objectif. Il est donc naturel de n'importer ou extraire du charbon qu'en quantité suffisante.

### 3. Limites de la résolution classique du problème par la méthode de Kuhn et Tucker.

Nous allons, dans le cas du problème défini au point 2, essayer de faire ressortir les difficultés d'une application de la méthode de Kuhn et Tucker.

Soit  $H = F - \sum_{i \in A} \lambda_i \cdot g_i$  où  $A = ( 1, \dots, 11 ; pu ; ur ; l ; h )$

Les conditions à vérifier sont les suivantes:

$$\begin{aligned}
 \text{A) } & ( F_i^t - UR(i) \cdot C_i^{t-1} ) \cdot \lambda_i = 0 \quad \text{pour } i = 1, 2, 11 \\
 & ( F_i^t - UR(i) \cdot C_i^{t-2} ) \cdot \lambda_i = 0 \quad \text{pour } i = 3, 4, 5 \\
 & ( F_i^t - K_i ) \cdot \lambda_i = 0 \quad \text{pour } i = 6, 7, 8, 9, 10 \\
 & ( 1,8 \cdot PU_{in} - 5,5 \cdot UR_{in} - PUST^{t-1} - 1450 \cdot F_3^t ) \cdot \lambda_{PU} = 0 \\
 & ( 4,15 \cdot UR_{in} - URST^{t-1} - 5 \cdot F_{10}^t + 1200 \cdot F_5^t ) \cdot \lambda_{UR} = 0 \\
 & ( PU_{in} + 6,8 \cdot UR_{in} - 1340 \cdot F_4^t ) \cdot \lambda_l = 0 \\
 & ( \frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2} - F_8^t + F_9^t ) \cdot \lambda_h = 0
 \end{aligned}$$



B) Les dérivées de H par rapport aux variables de fonctionnement sont les suivantes.

-équipements électriques

$$\frac{\delta H}{\delta F_1^t} = C_1' - C_1 - 2.C_{11}.DEL^t - 2.C_{12}.DNE^t - \lambda_1 - \frac{\lambda_h}{CE_1}$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_3^t} = C_1' - C_3 - 2.C_{11}.DEL^t - 2.C_{12}.DNE^t - \lambda_3 + 1450.\lambda_{PU}$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_4^t} = C_1' - C_4 - 2.C_{11}.DEL^t - 2.C_{12}.DNE^t - \lambda_4 + 1340.\lambda_I$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_5^t} = C_1' - C_5 - 2.C_{11}.DEL^t - 2.C_{12}.DNE^t - \lambda_5 - 1200.\lambda_{UR}$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_{11}^t} = C_1' - C_{11} - 2.C_{11}.DEL^t - 2.C_{12}.DNE^t - \lambda_{11}$$

-équipements producteurs d'énergie non électrique

$$\frac{\delta H}{\delta F_2^t} = C_2' - C_2 - 2.C_{22}.DNE^t - 2.C_{12}.DEL^t - \lambda_2 - \frac{\lambda_h}{CE_2}$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_6^t} = C_2' - C_6 - 2.C_{22}.DNE^t - 2.C_{12}.DEL^t - \lambda_6$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_7^t} = C_2' - C_7 - 2.C_{22}.DNE^t - 2.C_{12}.DEL^t - \lambda_7$$

-activités intermédiaires

$$\frac{\delta H}{\delta F_8^t} = -C_8 - \lambda_8 + \lambda_h$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} = -C_9 - \lambda_9 + \lambda_h$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = -C_{10} - \lambda_{10} + 5.\lambda_{UR}$$

-plutonium, uranium

$$\frac{\delta H}{\delta F_{in}^{PU}} = -\lambda_1 - 1,8 \cdot \lambda_{PU}$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_{in}^{UR}} = -6,8 \cdot \lambda_1 + 5,5 \cdot \lambda_{PU} - 4,15 \cdot \lambda_{UR}$$


---

Chaque variable du problème peut avoir une valeur nulle ou strictement positive.

$$\text{si } F_i^t = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\delta H}{\delta F_i^t} < 0$$

$$\text{si } F_i^t > 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\delta H}{\delta F_i^t} = 0$$

Chacune des contraintes qui sont des inégalités peut être serrée ou non selon les valeurs prises par les variables du problème.

Exemple :  $(F_1^t - UR(1) C_1^{t-1}) \lambda_1 = 0$

$$\text{si } F_1^t < UR(1) C_1^{t-1} \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = 0$$

$$\text{si } F_1^t = UR(1) C_1^{t-1} \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 \geq 0$$

Notre problème compte 13 variables et 13 contraintes d'inégalité. Il y a donc  $2^{26}$  cas à soumettre aux conditions de Kuhn et Tucker.

Rappelons qu'un cas consiste en les vérifications suivantes

- Vérifier que l'on a bien une solution, c'est-à-dire que toutes les contraintes sont vérifiées.
- Vérifier la valeur de  $\lambda_i$ ,  $i \in A$ .
- Vérifier que la solution est optimale : dérivées de H par rapport aux variables du problème.



Il n'est dès lors pas utile de préciser le temps que peut mettre le programme pour trouver la solution.

Comment remédier à cela ?

On pourrait se demander si pour satisfaire la demande électrique ou non électrique, certains équipements ne sont pas préférables à d'autres.

Une analyse des conditions du point B ci-dessus nous permet d'énoncer la proposition suivante.

- Proposition (1) Un ordre de préférence peut être établi au sein de l'ensemble des équipements électriques : cet ordre est indépendant de l'état de satisfaction de la demande électrique et non électrique.
- (2) Un ordre de préférence peut être établi au sein de l'ensemble des équipements non électriques : cet ordre est indépendant de l'état de satisfaction de la demande électrique et non électrique.

#### Démonstration

- (1) Pour que l'équipement électrique n° i soit préférable à l'équipement électrique n° j, il faut que

$$\frac{\delta H}{\delta F_i^t} > \frac{\delta H}{\delta F_j^t}$$

Dans chaque dérivée de H par rapport aux variables de fonctionnement des équipements électriques apparaît le terme

$$2 C_{11} DEL^t + 2 C_{12} DNE^t$$

L'ordre de préférence est donc indépendant de l'état de satisfaction des demandes.

L'équipement  $i$  est préférable à l'équipement  $j$  si

$$C'_1 - \alpha_i - f(\lambda) > C'_1 - \alpha_j - f'(\lambda)$$

où  $\alpha_i$  = terme constant résultant des coûts de fonctionnement (et éventuellement de stockage des matières utilisées par l'équipement  $i$ ).

$f(\lambda), f'(\lambda)$  = termes constants obtenus à partir des valeurs prises par  $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_h, \lambda_{PU}, \lambda_{UR}, \lambda_l$ .

Exemple : Le PWR fonctionnant au plutonium du stock est préférable à l'équipement solaire car

$$C'_1 - C_4 + 1340 \lambda_1 > C'_1 - C_{11}$$

(2) Un raisonnement analogue peut être fait en ce qui concerne les équipements non électriques.

Le terme  $2 C_{22} DNE^t + 2 C_{12} DEL^t$  est présent dans chacune des dérivées de  $H$  par rapport aux équipements non électriques  $\Rightarrow$  indépendance par rapport à l'état des demandes.

L'équipement  $i$  est préférable à l'équipement  $j$  si

$$C'_2 - C_i - g(\lambda) > C'_2 - C_j - g'(\lambda)$$

où  $C_i, C_j$  = coûts de fonctionnement des équipements  $i$  et  $j$

$g(\lambda), g'(\lambda)$  = termes constants obtenus à partir des valeurs prises par  $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_h$ .



LISTE I Priorités dans les équipements électriques.

1)  $F_4^t(\text{PU})$  : PWR fonctionnant au plutonium

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_4 = 740,7$

$\text{PUST}^t > 0$ ,  $\text{URST}^t > 0$ ,  $F_{10}^t = 0$

$F_4^t(\text{UR})$  : PWR fonctionnant à l'uranium du stock

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_4 = 740,7$

$\text{PUST}^t = 0$ ,  $\text{URST}^t > 0$ ,  $F_{10}^t = 0$

$F_5^t(\text{UR})$  : HTR fonctionnant à l'uranium du stock

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_5 = 740,7$

$\text{PUST}^t > 0$ ,  $\text{URST}^t > 0$ ,  $F_{10}^t = 0$

$F_3^t(\text{PU})$  : FBR fonctionnant au plutonium

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_3 = 740,7$

$F_{11}^t$  : STEC

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_{11} = 740,7$

2)  $F_4^t(F_{10}^t)$  : PWR fonctionnant à l'uranium extrait

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_4 + 1340 \lambda_{\perp} = 736,94$

$\text{PUST}^t = 0$ ,  $\text{URST}^t = 0$ ,  $F_{10}^t > 0$

3)  $F_5^t(F_{10}^t)$  : HTR fonctionnant à l'uranium extrait

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_5 - 1200 \lambda_{\text{UR}} = 731,82$

4)  $F_1^t(F_8^t)$  : HCPWS fonctionnant au charbon extrait

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_1 - \frac{\lambda_h}{C_{E_1}} = 719,59$

5)  $F_1^t(F_9^t)$  : HCPWS fonctionnant au charbon importé

Valeur du terme constant :  $C_1' - C_1 - \frac{\lambda_h}{C_{E_2}} = 708,48$

LISTE II Priorités dans les équipements non électriques.

1)  $F_6^t$  : OLEX

Valeur du terme constant :  $C_2' - C_6 = 46,49$

2)  $F_2^t(F_8^t)$  : HCLIQ fonctionnant au charbon extrait  $\lambda_h$

Valeur du terme constant :  $C_2' - C_2 - \frac{\lambda_h}{CE_2} = 40,7$

3)  $F_2^t(F_9^t)$  : HCLIQ fonctionnant au charbon importé  $\lambda_h$

Valeur du terme constant :  $C_2' - C_2 - \frac{\lambda_h}{CE_2} = 34,9$

4)  $F_7^t$  : OLTRD

Valeur du terme constant :  $C_2' - C_7 = 32,49$

On pourrait se demander maintenant quel serait l'intérêt d'une classification préalable des équipements ?

Pour répondre à cette question, considérons la situation suivante :

$$F_4^t = 0, F_1^t > 0, F_8^t > 0, UR_{in} > 0, PU_{in} > 0,$$

$$F_i^t = 0 \quad i \neq 4, 8, 1$$

$$-PUST^t > 0, URST^t > 0$$

Cette situation est une des  $2^{26}$  cas envisagés par le logiciel de résolution. La solution ci-dessus, si elle existe, ne peut être optimale. En effet, selon Kuhn et Tucker

$$F_4^t = 0 \text{ et } F_1^t > 0 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\delta H}{\delta F_4^t} < 0$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0$$



Or, une simple consultation de la liste I de rangement des équipements électriques nous montre que

$$\text{si } \text{PUST}^t > 0 \quad \text{et} \quad \text{URST}^t > 0$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_4^t} > \frac{\delta H}{\delta F_1^t}$$

La classification préalable des équipements nous permettrait de construire un programme éliminant directement de telles situations (il y en a plus de  $2^{19}$  dans notre problème). Le gain de temps est évidemment non négligeable. Il y a d'autres raisons toutes aussi importantes qui nous poussent à ne pas utiliser un programme classique de résolution.

En effet, celui-ci nous fournirait une solution numérique. Or si l'on veut étudier par la suite les effets qu'auraient les investissements sur une telle solution et ainsi tendre à la résolution du problème complet (multipériodes), on a besoin d'une expression paramétrique de la solution ainsi que de sa région de confiance : cela en permettrait une analyse de variation.

On pourrait maintenant, sur base des listes I et II dressées auparavant, énumérer et écrire les solutions vérifiant les conditions de Kuhn et Tucker.

Cependant, cela ne nous avancerait pas beaucoup car le programme écrit serait inutilisable si l'on veut tenir compte de technologies supplémentaires.

## B) Généralisation et décomposition du problème.

### 1. Généralisation du problème.

Les onze équipements considérés dans notre problème sont soumis à des contraintes de dépassement de capacité et de disponibilité de ressources. Les contraintes restantes sont uniquement liées aux réacteurs nucléaires et aux équipements au charbon.

Il est facile de comprendre que les demandes en énergie électrique et non électrique ne sont pas satisfaites uniquement par ces onze équipements. D'autres technologies et d'autres ressources y contribuent certainement : pensons par exemple à l'utilisation du gaz naturel au sein de la CEE.

Ces considérations nous amènent à définir un modèle plus général dans lequel un nombre quelconque mais fini de technologies contribuent à la production d'énergie, qu'elle soit électrique ou non. L'utilisation de toutes ces techniques est limitée par la capacité maximale de l'équipement et pour certaines d'entre elles par la disponibilité en ressources.

Nous distinguerons cependant parmi elles les équipements au charbon et les équipements nucléaires soumis à des contraintes plus particulières.

Notre modèle sera donc le suivant.

#### 1) Equipements et contraintes.

- Equipements producteurs d'électricité (non compris les réacteurs nucléaires et les équipements au charbon)

Notation :  $ELE(i)$  ,  $i > 0$

(= variable de fonctionnement)

Contrainte:  $ELE(i) \leq UR(i) C_{ELE(i)}^t = CELE(i)$



- Equipements producteurs d'énergie non électrique (non compris les équipements au charbon).

Notation :  $NELE(j)$  ,  $j > 0$

(= variable de fonctionnement)

Contrainte:  $NELE(j) \leq CNELE(j)$

où  $CNELE(j)$  tient compte si il y a lieu de la disponibilité en ressources; dans ce cas :

$$CNELE(j) = \min \left\{ UR(j) C_{NELE(j)}^t, \frac{RQ(NELE(j)) - E_{NELE(j)}^{t-1}}{5} \right\}$$

- Equipements nucléaires : PWR, HTR, FBR

$$\text{Contraintes : } F_3^t \leq UR(3) \cdot C_3^{t-2}$$

$$F_4^t \leq UR(4) \cdot C_4^{t-2}$$

$$F_5^t \leq UR(5) \cdot C_5^{t-2}$$

$$PU_{in} + 6,8 UR_{in} - 1340 F_4^t = 0$$

$$PUST^t = PUST^{t-1} + 5,5 UR_{in} - 1,8 PU_{in} + 1450 F_3^t \geq 0$$

$$URST^t = URST^{t-1} + 5 \cdot F_{10}^t - 4,15 UR_{in} - 1200 F_5^t \geq 0$$

- Equipements au charbon : HCPWS, HCLIQ, HCEX, HCTRD

$$\text{Contraintes : } F_1^t \leq UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t \leq UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$F_8^t \leq K_8$$

$$F_9^t \leq K_9$$

$$\frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2} = F_8^t + F_9^t$$

## 2) Fonction objectif.

$$\begin{aligned}
 \text{Maximiser } F = & C'_1 \cdot \text{DEL}^t + C'_2 \cdot \text{DNE}^t - C_{11} (\text{DEL}^t)^2 \\
 & - 2C_{12} \text{DEL}^t \cdot \text{DNE}^t - C_{22} (\text{DNE}^t)^2 \\
 & - \sum_{i=1}^{\alpha} C_i^e \cdot \text{ELE}(i) - \sum_{j=1}^{\beta} C_j^n \cdot \text{NELE}(j) \\
 & - C_1 F_1^t - C_2 F_2^t - C_3 F_3^t - C_4 F_4^t \\
 & - C_5 F_5^t - C_8 F_8^t - C_9 F_9^t
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Où } \text{DEL}^t = & \sum_{i=1}^{\alpha} \text{ELE}(i) + F_1^t + F_3^t + F_4^t + F_5^t \\
 & = \text{nombre d'équipements électriques considérés.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{DNE}^t = & \sum_{j=1}^{\beta} \text{NELE}(j) + F_2^t \\
 & = \text{nombre d'équipements non électriques considérés.}
 \end{aligned}$$

## 2. Décomposition du modèle.

Comme on peut le voir dans la liste I classifiant les équipements producteurs d'électricité, les contraintes nucléaires ne facilitent en rien le rangement par priorité des équipements.

Il serait donc intéressant de séparer les équipements nucléaires du reste des technologies et de les traiter indépendamment de celles-ci. Cette séparation est justifiée ci-dessous par le biais d'hypothèses inhérentes aux descriptions des deux sous-problèmes.

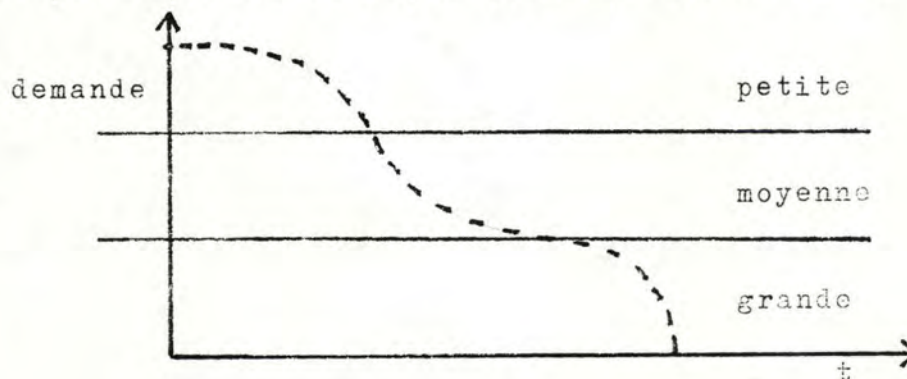
### 1) Sous-problème 1 : équipements nucléaires.

#### a) Hypothèses

- L'utilisation des équipements nucléaires dans la satisfaction de la demande finale en énergie est faite en premier lieu et indépendamment des autres équipements.



Cela est justifiée par les coûts de fonctionnement des réacteurs nucléaires ( $i = 0$ ) et par le fait que la demande n'est pas répartie de façon uniforme sur l'année.



Des investissements coûteux dans les secteurs nucléaires nous poussent donc à une utilisation maximale des équipements nucléaires (il paraît raisonnable de supposer qu'ils ne peuvent seuls satisfaire la demande électrique).

Si les contraintes de stock ou de disponibilités en matières nucléaires le permettent, les équipements nucléaires seront utilisés en quantité  $UR(i) \cdot C_1^{t-2}$

On notera ici que l'on a toujours

$$F_3^t = UR(3) \cdot C_3^{t-2}$$

car son utilisation contribue à l'augmentation du stock de plutonium.

#### b) Formulation du sous-problème

$$\begin{aligned} \text{Maximiser } F_N = & C_1^t (F_3^t + F_4^t + F_5^t) - C_3 F_3^t - C_4 F_4^t \\ & - C_5 F_5^t - C_{10} F_{10}^t \end{aligned}$$

$$\text{sachant que } F_3^t = UR(3) \cdot C_3^{t-2}$$

et sous contraintes :  $F_4^t \leq UR(4) \cdot C_4^{t-2}$

$$F_5^t \leq UR(5) \cdot C_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t \leq K_{10}$$

$$PU_{in} + 6,8 UR_{in} - 1340 F_4^t = 0$$

$$PUST^t = PUST^{t-1} + 5,5 UR_{in} - 1,0 PU_{in} \\ + 1450 UR(3) \cdot C_3^{t-2} \geq 0$$

$$URST^t = URST^{t-1} + 5 \cdot F_{10}^t - 4,15 UR_{in} \\ - 1200 F_5^t \geq 0$$

## 2) Sous-problème 2 : équipements restants.

### a) Hypothèses

Le sous-problème défini ci-dessous rassemble les équipements non nucléaires, c'est-à-dire des équipements électriques (ELE(i)), des équipements non électriques (NELE(j)) et les équipements au charbon.

Bien entendu, il nous faut tenir compte de la partie de la demande électrique satisfaite par les équipements nucléaires.

### b) Formulation du sous-problème

$$\text{Maximiser } F_B = C'_1 \left( \sum_{i=1}^{\alpha} ELE(i) + F_1^t \right) \\ + C'_2 \left( \sum_{j=1}^{\beta} NELE(j) + F_2^t \right) \\ - C_{11} \cdot \left( \sum_{i=1}^{\alpha} ELE(i) + F_1^t \right)^2 - 2 C_{12} \cdot \left( \sum_{i=1}^{\alpha} ELE(i) + F_1^t \right) \cdot \left( \sum_{j=1}^{\beta} NELE(j) + F_2^t \right) \\ - C_{22} \cdot \left( \sum_{j=1}^{\beta} NELE(j) + F_2^t \right)^2$$



$$\begin{aligned}
& - C_1 \cdot F_1^t - C_2 \cdot F_2^t - C_8 F_8^t - C_9 F_9^t \\
& - \sum_{i=1}^{\alpha} C'_i \text{ELE}(i) - \sum_{j=1}^{\beta} C''_j \text{NELE}(j).
\end{aligned}$$

où  $C'_i$  = coût de fonctionnement de l'équipement  $\text{ELE}(i)$

$C''_j$  = coût de fonctionnement de l'équipement  $\text{NELE}(j)$

Sous-contraintes :  $F_1^t \leq \text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1}$

$$F_2^t \leq \text{UR}(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$F_8^t \leq K_8$$

$$F_9^t \leq K_9$$

$$\text{ELE}(i) \leq \text{CELE}(i) \quad 1 < i \leq \alpha$$

$$\text{NELE}(j) \leq \text{CNELE}(j) \quad 1 < j \leq \beta$$

$$\frac{F_1^t}{C_{E_1}} + \frac{F_2^t}{C_{E_2}} = F_8^t + F_9^t$$

$$\text{DEL}^t = Q + \sum_{i=1}^{\alpha} \text{ELE}(i) + F_1^t$$

### 3) Conclusion

On peut écrire le problème sous la forme

$$\max F(Z^t) = \max F_A(Z_1^t) + \max F_N(Z_2^t)$$

$$\text{Sous-contraintes} \quad A_t Z_1^t \leq D_1$$

$$N_t Z_2^t \leq D_2$$

$$\cdot Z^t = \begin{pmatrix} z_1^t \\ z_2^t \end{pmatrix}$$

avec

$$\cdot Z_1^t = \left( \text{ELE}(1) \dots \text{ELE}(i) \dots \text{ELE}(n) \text{NELE}(1) \dots \text{NELE}(j) \dots \text{NELE}(N) F_1^t F_2^t F_8^t F_9^t \right)^T$$

$$\cdot Z_2^t = \left( F_4^t F_5^t F_{10}^t \text{UR}_{in} \text{PU}_{in} \right)^T$$

$$\cdot N_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1340 & 0 & 0 & 1 & 6,8 \\ 1340 & 0 & 0 & -1 & -6,8 \\ 0 & 0 & 0 & -5,5 & 1,8 \\ 0 & 1200 & -1 & 0 & 4,15 \end{bmatrix} \quad D_2 = \begin{bmatrix} \text{UR}(4)C_4^{t-2} \\ \text{UR}(5)C_5^{t-2} \\ K_{10} \\ 0 \\ 0 \\ \text{PUST}^{t-1} - 1450 \text{UR}(3)C_3^{t-2} \\ \text{URST}^{t-1} \end{bmatrix}$$

$$\cdot A_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & . & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & . & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & \frac{1}{CE_1} & \frac{1}{CE_2} & -1 & -1 \\ 0 & . & . & . & . & . & . & . & \frac{-1}{CE_1} & \frac{-1}{CE_2} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad D_1 = \begin{bmatrix} \text{CELE}(1) \\ . \\ \text{CELE}(N) \\ \text{CNELE}(1) \\ . \\ \text{CNELE}(N) \\ \text{UR}(1) C_1^{t-1} \\ \text{UR}(2) C_2^{t-2} \\ K_8 \\ K_9 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Les valeurs prises par les variables du vecteur  $Z_t$  et obtenues



après résolution des deux sous-problèmes sont évidemment des valeurs approchées de celles qui correspondraient à la solution obtenue sans division du problème. C'est le prix à payer pour une simplification de celui-ci. On pourrait, suite à ce mémoire vérifier que nos hypothèses conduisent à une bonne approximation.

## CHAPITRE 5

### RESOLUTION DU SOUS-PROBLEME NUCLEAIRE.

Nous allons dans ce chapitre essayer de cerner l'ensemble des situations correspondant à une solution optimale du sous-problème nucléaire. Le caractère optimal sera vérifié à l'aide des conditions de Kuhn et Tucker.

Les hypothèses faites au chapitre précédent et qui nous conduisent à utiliser les équipements nucléaires au maximum de leurs possibilités nous ont permis de restreindre fortement les situations possibles.

Nous montrerons qu'elles sont mutuellement exclusives et que tous les cas sont couverts (partition).

Rappelons que l'on a déjà  $F_3^t = UR(3) \cdot C_3^{t-2}$ .



1. Conditions de Kuhn et Tucker.

$$\text{Soit } H = F_N - \sum_i \lambda_i g_i \quad i \in \{4, 5, \text{PU}, \text{UR}, 1\}$$

Les conditions à vérifier sont les suivantes :

$$\text{a) } F_4^t - \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} \leq 0$$

$$F_5^t - \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2} \leq 0$$

$$F_{10}^t - K_{10} \leq 0$$

$$\text{PU}_{\text{in}} + 6,8 \text{UR}_{\text{in}} - 1340 F_4^t = 0$$

$$1,8 \text{PU}_{\text{in}} - 5,5 \text{UR}_{\text{in}} - 1450 \cdot \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} - \text{PUST}^{t-1} \leq 0$$

$$4,15 \text{UR}_{\text{in}} + 1200 F_5^t - F_{10}^t - \text{URST}^{t-1} \leq 0$$

$$\text{b) } (F_4^t - \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2}) \cdot \lambda_4 = 0$$

$$\lambda_4 \geq 0$$

$$(F_5^t - \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}) \cdot \lambda_5 = 0$$

$$\lambda_5 \geq 0$$

$$(F_{10}^t - K_{10}) \cdot \lambda_{10} = 0$$

$$\lambda_{10} \geq 0$$

$$(1,8 \text{PU}_{\text{in}} - 5,5 \text{UR}_{\text{in}} - 1450 F_3^t - \text{PUST}^{t-1}) \cdot \lambda_{\text{PU}} = 0 \quad \lambda_{\text{PU}} \geq 0$$

$$(4,15 \text{UR}_{\text{in}} + 1200 F_5^t - F_{10}^t - \text{URST}^{t-1}) \cdot \lambda_{\text{UR}} = 0 \quad \lambda_{\text{UR}} \geq 0$$

$$(\text{PU}_{\text{in}} + 6,8 \text{UR}_{\text{in}} - 1340 F_4^t) \cdot \lambda_1 = 0$$

$$\lambda_1 \text{ quelconque}$$

$$\text{c) } \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = M_4 - 2C_{11} (F_3^t + F_4^t + F_5^t) - \lambda_4 + 1340 \lambda_1$$

où  $M_4 = C'_1 - C_4$

$$\frac{\delta H}{\delta F_5^t} = M_5 - 2C_{11} (F_3^t + F_4^t + F_5^t) - \lambda_5 + 1200 \lambda_{\text{UR}}$$

où  $M_5 = C'_1 - C_5$

$$\frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = M_{10} - \lambda_{10} + \lambda_{UR}$$

où  $M_{10} = -C_{10}$

$$\frac{\delta H}{\delta PU_{in}} = -\lambda_1 - 1,8\lambda_{PU}$$

$$\frac{\delta H}{\delta UR_{in}} = -6,8\lambda_1 + 5,5\lambda_{PU} - 4,15\lambda_{UR}$$

## 2. Solutions du sous-problème nucléaire : justification du caractère optimal de ces solutions.

**Cas 1** : Les quantités en stock de plutonium et d'uranium sont suffisantes pour faire fonctionner les équipements au maximum de leurs capacités.

### Remarque

L'utilisation de  $PU_{in}$  et  $UR_{in}$  dans le fonctionnement du PWR est indifférente.

### Démonstration :

Soit  $PUST^t > 0$ ,  $URST^t > 0$

a) Supposons que le PWR fonctionne uniquement au plutonium  
 $\implies PU_{in} > 0$ ,  $UR_{in} = 0$

$$PUST^t > 0 \implies \lambda_{PU} = 0$$

$$URST^t > 0 \implies \lambda_{UR} = 0$$

$$PU_{in} > 0 \implies \frac{\delta H}{\delta PU_{in}} = 0 \implies \lambda_1 = 0$$

$$UR_{in} = 0 \implies \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} < 0$$



On devrait donc avoir

$$-6,8 \lambda_1 + 5,5 \lambda_{PU} - 4,15 \lambda_{UR} < 0$$

$$\text{or } \lambda_1 = \lambda_{PU} = \lambda_{UR} = 0$$

- b) Si on suppose que le PWR fonctionne uniquement à l'uranium on arrive à la même contradiction.

Le PWR fonctionne indifféremment au plutonium ou à l'uranium  $PU_{in}$  et  $UR_{in}$  peuvent donc prendre une valeur arbitraire (soit  $\theta > 0$ , la valeur de  $PU_{in}$ , la valeur de  $UR_{in}$  est déterminée par la contrainte de liaison). Cela entraîne une infinité de solutions.

### Résolution

Situation envisagée :  $F_4^t = UR(4) \cdot C_4^{t-2}$ ,  $F_5^t = UR(5) \cdot C_5^{t-2}$

$$F_{10}^t = 0, PU_{in} = \theta \geq 0, UR_{in} \geq 0$$

$$PUST^t > 0, URST^t > 0$$

$$\implies \lambda_{10}, \lambda_{PU}, \lambda_{UR} = 0$$

### Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 \implies M_4 - 2C_{11}(UR(3) \cdot C_3^{t-2} + UR(4) \cdot C_4^{t-2} + UR(5) \cdot C_5^{t-2}) - \lambda_4 + 1340 \lambda_1 = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_5^t} = 0 \implies M_5 - 2C_{11}(UR(3) \cdot C_3^{t-2} + UR(4) \cdot C_4^{t-2} + UR(5) \cdot C_5^{t-2}) - \lambda_5 = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} < 0 \implies M_{10} < 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta PU_{in}} = 0 \implies \lambda_1 = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} = 0 \implies \lambda_1 = 0$$

$$6) \lambda_4, \lambda_5 \geq 0$$

7) Contraintes du problème

Vérification des conditions :

$$\lambda_4 \geq 0 \implies M_4 - 2C_{11} (UR(3) \cdot c_3^{t-2} + UR(4) \cdot c_4^{t-2} + UR(5) \cdot c_5^{t-2}) \geq 0$$

$$\lambda_5 \geq 0 \implies M_5 - 2C_{11} (UR(3) \cdot c_3^{t-2} + UR(4) \cdot c_4^{t-2} + UR(5) \cdot c_5^{t-2}) \geq 0$$

$$\text{Or } M_4 = M_5 \implies \lambda_4 = \lambda_5$$

Recherche de  $UR_{in}$

$$PU_{in} = 0 \implies UR_{in} = \frac{1340 UR(4) \cdot c_4^{t-2} - \theta}{6,8}$$

Conclusion

$$\text{Produire } F_3^t = UR(3) \cdot c_3^{t-2}$$

$$F_4^t = UR(4) \cdot c_4^{t-2}$$

$$F_5^t = UR(5) \cdot c_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = 0$$

$$PU_{in} = 0$$

$$UR_{in} = \frac{1340 UR(4) \cdot c_4^{t-2} - \theta}{6,8}$$



$$\begin{aligned}
\text{SI } 1) & \text{UR}(3).c_3^{t-2} + \text{UR}(4).c_4^{t-2} + \text{UR}(5).c_5^{t-2} \leq M_5/2C_{11} \\
2) & \text{URST}^t = \text{URST}^{t-1} - 1200 \text{UR}(5).c_5^{t-2} - 4,5.\text{UR}_{\text{in}} > 0 \\
3) & \text{PUST}^t = \text{PUST}^{t-1} - 1,8.\text{PU}_{\text{in}} + 5,5.\text{UR}_{\text{in}} + 1450.\text{UR}(3).c_3^{t-2} > 0 \\
4) & 0 \leq \theta \leq 1340.\text{UR}(4).c_4^{t-2}
\end{aligned}$$

**Cas 2** : Les équipements sont utilisés au maximum de leurs capacités; ici, le stock de plutonium est nul.

### Résolution

#### Situation envisagée

$$F_4^t = \text{UR}(5).c_5^{t-2}, \quad F_5^t = \text{UR}(5).c_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = 0, \quad \text{UR}_{\text{in}} > 0, \quad \text{PU}_{\text{in}} > 0, \quad \text{PUST}^t > 0$$

$$\text{URST}^t > 0$$

$$\implies \lambda_{10}, \lambda_{\text{UR}} = 0$$

#### Conditions à vérifier

$$\begin{aligned}
1) \quad \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 & \implies M_4 - 2C_{11} (\text{UR}(3).c_3^{t-2} + \text{UR}(4).c_4^{t-2} + \\
& \text{UR}(5).c_5^{t-2}) - \lambda_4 + 1340 \lambda_1 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2) \quad \frac{\delta H}{\delta F_5^t} = 0 & \implies M_5 - 2C_{11} (\text{UR}(3).c_3^{t-2} + \text{UR}(4).c_4^{t-2} + \\
& \text{UR}(5).c_5^{t-2}) - \lambda_5 = 0
\end{aligned}$$

$$3) \quad \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} < 0 \implies M_{10} < 0$$

$$4) \quad \frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{\text{in}}} = 0 \implies -\lambda_1 - 1,8 \lambda_{\text{PU}} = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} = 0 \implies -6,8 \lambda_1 + 5,5 \lambda_{PU} = 0$$

$$6) \lambda_4, \lambda_5, \lambda_{PU} \geq 0$$

7) Contraintes du problème

### Vérification des conditions

$$\lambda_4 \geq 0 \implies M_4 - 2C_{11}(UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2}) \geq 0$$

$$\lambda_5 \geq 0 \implies M_5 - 2C_{11}(UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2}) \geq 0$$

$$\text{Or } M_4 = M_5 \implies \lambda_4 = \lambda_5$$

### Recherche de $PU_{in}$ , $UR_{in}$

Des équations

$$PU_{in} + 6,8 UR_{in} = 1340.F_4^t$$

$$PUST^t + 5,5 UR_{in} - 1,8 PU_{in} + 1450.UR(3).c_3^{t-2} = 0$$

On tire, les valeurs de  $UR_{in}$  et  $PU_{in}$  (voir conclusion)

### Conclusion

$$\text{Produire } F_3^t = UR(3).c_3^{t-2}$$

$$F_4^t = UR(4).c_4^{t-2}$$

$$F_5^t = UR(5).c_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = 0$$

$$UR_{in} = \frac{-PUST^t - 1450.UR(3).c_3^{t-2} + 2412.UR(4).c_4^{t-2}}{17,74}$$

$$PU_{in} = 1340.UR(4).c_4^{t-2} - 6,8.UR_{in}$$



$$\text{SI } 1) \text{UR}(3).C_3^{t-2} + \text{UR}(4).C_4^{t-2} + \text{UR}(5).C_5^{t-2} < \frac{M_5}{2C_{11}}$$

$$2) -\text{PUST}^{t-1} - 1450.\text{UR}(3).C_3^{t-2} + 2412.\text{UR}(4).C_4^{t-2} > 0$$

$$3) \text{URST}^t = \text{URST}^{t-1} - 4,15.\text{UR}_{in} - 1200.\text{UR}(5).C_5^{t-2} > 0$$

**Cas 3** : Si dans le cas 2, la contrainte concernant le stock d'uranium n'est pas respecté ( $\text{URST}^t < 0$ ), on pose  $\text{URST}^t = 0$  et on extrait de l'uranium ( $F_{10}^t > 0$ )

#### Situation envisagée

$$F_4^t = \text{UR}(4).C_4^{t-2}, \quad F_5^t = \text{UR}(5).C_5^{t-2}$$

$$0 < F_{10}^t < K_{10}, \quad \text{UR}_{in} > 0, \quad \text{PU}_{in} > 0$$

$$\text{PUST}^t = 0, \quad \text{URST}^t = 0$$

$$\Rightarrow \lambda_{10} = 0$$

#### Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 \Rightarrow M_4 - 2C_{11}(\text{UR}(3).C_3^{t-2} + \text{UR}(4).C_4^{t-2} + \text{UR}(5).C_5^{t-2}) - \lambda_4 + 1340. \lambda_1 = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_5^t} = 0 \Rightarrow M_5 - 2C_{11}(\text{UR}(3).C_3^{t-2} + \text{UR}(4).C_4^{t-2} + \text{UR}(5).C_5^{t-2}) - \lambda_5 + 1200. \lambda_{UR} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{in}} = 0 \Rightarrow -6,8 \lambda_1 + 5,5 \lambda_{PU} - 4,15 \lambda_{UR} = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{in}} = 0 \Rightarrow -\lambda_1 + 1,8 \lambda_{PU} = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = 0 \Rightarrow M_{10} + 5. \lambda_{UR} = 0$$

$$6) \lambda_{PU}, \lambda_{UR}, \lambda_4, \lambda_5 \geq 0$$

7) Contraintes du problème

Vérification des conditions

$$\lambda_4 \quad \lambda_5 \text{ et } \lambda_5 \geq 0 \text{ si } M_5 - 1200 \lambda_{UR} - 2C_{11} (UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2}) \geq 0$$

$$\lambda_{UR} \geq 0 \text{ car } \lambda_{UR} = -M_{10}/5$$

$$\lambda_{PU} \geq 0 \text{ car } \lambda_{PU} = 0,23. \lambda_{UR} > 0$$

Recherche de  $PU_{in}$ ,  $UR_{in}$ ,  $F_{10}^t$

$$PU_{in} \text{ et } UR_{in} \text{ ont les valeurs du cas deux}$$

$$F_{10}^t = \frac{4,15.UR_{in} + 1200.UR(5).c_5^{t-2} - URST^{t-1}}{5}$$

Conclusion

$$\text{Produire } F_3^t = UR(3).c_3^{t-2}, F_4^t = UR(4).c_4^{t-2}, F_5^t = UR(5).c_5^{t-2}$$

$$UR_{in} = \frac{-PUST^{t-1} - 1450.UR(3).c_3^{t-2} + 2412.UR(4).c_4^{t-2}}{17,74}$$

$$PU_{in} = 1340.UR(4).c_4^{t-2} - 6,8.UR_{in}$$

$$F_{10}^t = \frac{4,15.UR_{in} + 1200.UR(5).c_5^{t-2} - URST^{t-1}}{5}$$

$$\text{si } 1) UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2} \leq \frac{M_5 + 240.M_{10}}{2.C_{11}}$$

$$2) 0 < 4,15.UR_{in} + 1200.UR(5).c_5^{t-2} - URST^{t-1} < K_{10}$$

$$3) -PUST^{t-1} - 1450.UR(3).c_3^{t-2} + 2412.UR(4).c_4^{t-2} > 0$$

**Cas 4** : Si dans le cas 3, la contrainte concernant l'extraction d'uranium n'est pas respectée ( $F_{10}^t < K_{10}$ ) alors on pose  $F_{10}^t = K_{10}$  et on diminue la valeur de  $F_5^t$  (dernier sur la liste des équicléaires).

Situation envisagée

$$F_4^t = UR(4).c_4^{t-2}$$



$$0 < F_5^t < UR(5) \cdot C_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = K_{10}$$

$$PUST = 0, URST^t = 0$$

$$\implies \lambda_5 = 0$$

Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 \implies M_4 - 2C_{11}(UR(4) \cdot C_4^{t-2} + UR(3) \cdot C_3^{t-2} + F_5^t) - \lambda_4 + 1340 \cdot \lambda_1 = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_5^t} = 0 \implies M_5 - 2C_{11}(UR(4) \cdot C_4^{t-2} + UR(3) \cdot C_3^{t-2} + F_5^t) - 1200 \lambda_{UR} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = 0 \implies M_{10} - \lambda_{10} + 5\lambda_{UR} = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta P_{U_{in}}} = 0 \implies \lambda_p - 1,8 \lambda_{PU} = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} = 0 \implies -6,8 \lambda_p + 5,5 \lambda_{PU} - 4,15 \lambda_{UR} = 0$$

$$6) \lambda_{10}, \lambda_{PU}, \lambda_{UR}, \lambda_4 \geq 0$$

7) Contraintes du problème

Vérification des conditions

$$\text{De 5) on tire : } \lambda_{UR} = \frac{M_5 - 2C_{11}(UR(4) \cdot C_4^{t-2} + UR(3) \cdot C_3^{t-2} + F_5^t)}{1200}$$

$$\text{De 3) on tire : } \lambda_{10} = M_{10} + 5\lambda_{UR}$$

$$\lambda_{10} \geq 0 \implies \lambda_{UR} \geq 0 \quad (M_{10} \text{ est négatif})$$

$$(*) \quad \frac{M_5 + 240 M_{10} - 2C_{11} (UR(4).C_4^{t-2} + UR(3).C_3^{t-2} + F_5^t)}{1200} \geq 0$$

si (\*) est vérifié, alors  $\lambda_{PU}$ ,  $\lambda_4$ ,  $\lambda_{UR} \geq 0$

Recherche de  $F_5^t$ ,  $UR_{in}$ ,  $PU_{in}$

$$F_5^t = (5K_{10} + URST^{t-1} - 4,15 UR_{in}) / 1200$$

$UR_{in}$  et  $PU_{in}$  sont les expressions trouvées dans le cas 2.

Conclusion

$$\text{Produire} \quad F_3^t = UR(3).C_3^{t-2}$$

$$F_4^t = UR(4).C_4^{t-2}$$

$$F_5^t = (5K_{10} + URST^{t-1} - 4,15 UR_{in}) / 1200$$

$$F_{10}^t = K_{10}$$

$$UR_{in} = \frac{-PUST^{t-1} - 1450.UR(3).C_3^{t-2} + 2412.UR(4).C_4^{t-2}}{17,74}$$

$$PU_{in} = 1340.UR(4).C_4^{t-2} - 6,8.UR_{in}$$

$$\text{SI } 1) UR(3).C_3^{t-2} + UR(4).C_4^{t-2} + (URST^{t-1} + 5K_{10} -$$

$$4,15.UR_{in}) \leq \frac{M_5 + 240 M_{10}}{2C_{11}}$$

$$2) 0 < 5K_{10} + URST^{t-1} - 4,15.UR_{in} < K_{10} \cdot 1200$$

$$3) -PUST^{t-1} - 1450.UR(3).C_3^{t-2} + 2412.UR(4).C_4^{t-2} > 0$$



**Cas 5** : Si dans le cas 4,  $F_5^t < 0$ , on pose  $F_5^t = 0$  et on détermine la valeur de  $F_4^t$

### Résolution

#### Situation envisagée

$$0 < F_4^t < UR(4) \cdot C_4^{t-2}, F_5^t = 0$$

$$F_{10}^t = K_{10}, UR_{in} > 0, PU_{in} > 0$$

$$PUST^t = 0, URST^t = 0$$

$$\implies \lambda_4, \lambda_5 = 0$$

#### Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 \implies M_4 - 2C_{11}(UR(3) \cdot C_3^{t-2} + F_4^t) + 1340 \cdot \lambda_1 = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_5^t} < 0 \implies M_5 - 2C_{11}(UR(3) \cdot C_3^{t-2} + F_4^t) - 1200 \cdot \lambda_{UR} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = 0 \implies M_{10} - \lambda_{10} + 5 \lambda_{UR} = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta PU_{in}} = 0 \implies -\lambda_1 - 1,8 \lambda_{PU} = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} = 0 \implies -6,8 \cdot \lambda_1 + 5,5 \cdot \lambda_{PU} - 4,15 \cdot \lambda_{UR} = 0$$

$$6) \lambda_{UR}, \lambda_{PU}, \lambda_{10} \geq 0$$

7) Contraintes du problème

Vérification des conditions

$$\lambda_1 = \frac{-M_4 + 2C_{11}(UR(3).c_3^{t-2} + F_4^t)}{1340}$$

$$\lambda_{PU} \geq 0 \implies \frac{-\lambda_1}{1,8} \geq 0 \quad (\text{vrai si } \lambda_1 \geq 0)$$

$$\lambda_{UR} \geq 0 \implies \frac{-6,8.\lambda_1 + 5,5.\lambda_{PU}}{4,15} \geq 0$$

$$\lambda_{10} \geq 0 \implies M_{10} + 5.\lambda_{UR} \geq 0$$

De ces trois implications, on tirera la contrainte 1 de la conclusion car on a  $\lambda_{10} < \lambda_{UR}$  et  $\lambda_{10} < \lambda_{PU}$

Recherche de  $UR_{in}$ ,  $PU_{in}$ ,  $F_4^t$

$$UR_{in} = \frac{URST^{t-1} + 5.K_{10}}{4,15}$$

$$PU_{in} = \frac{PUST^{t-1} + 5,5.UR_{in} + 1450.UR(3).c_3^{t-2}}{1,8}$$

$$F_4^t = \frac{PU_{in} + 6,8.UR_{in}}{1340}$$

Conclusion

Produire  $F_3^t = UR(3).c_3^{t-2}$

$$UR_{in} = \frac{URST^{t-1} + 5.K_{10}}{4,15}$$

$$PU_{in} = \frac{PUST^{t-1} + 5,5.UR_{in} + 1450.UR(3).c_3^{t-2}}{1,8}$$

$$F_4^t = \frac{PU_{in} + 6,8.UR_{in}}{1340}$$



$$F_5^t = 0$$

$$F_{10}^t = K_{10}$$

$$\text{SI } 1) \quad 2C_{11} (UR(3).C_3^{t-2} + F_4^t) \leq \frac{M_{10} + 0,009 M_4}{0,009}$$

$$2) \quad 0 < \frac{PU_{in} + 6,8.UR_{in}}{1340} < UR(4).C_4^{t-2}$$

**Cas 6** : La quantité de plutonium en stock est suffisante pour faire fonctionner PWR au maximum de sa capacité (cas 1).

Mais, ici, le stock d'uranium est nul et on en extrait.

#### Situation envisagée

$$F_4^t = UR(4).C_4^{t-2}, \quad F_5^t = UR(5).C_5^{t-2}$$

$$0 < F_{10}^t < K_{10}$$

$$PU_{in} > 0, \quad URST^t = 0$$

$$\implies \lambda_{PU}, \lambda_{10} = 0$$

#### Conditions à vérifier

$$1) \quad \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 \implies M_4 - 2C_{11} (UR(3).C_3^{t-2} + UR(4).C_4^{t-2} + UR(5).C_5^{t-2}) - \lambda_4 = 0$$

$$2) \quad \frac{\delta H}{\delta F_5^t} = 0 \implies M_5 - 2C_{11} (UR(3).C_3^{t-2} + UR(4).C_4^{t-2} + UR(5).C_5^{t-2}) - 1200 \lambda_{UR} - \lambda_5 = 0$$

$$3) \quad \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = 0 \implies M_{10} + 5 \lambda_{UR} = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta PU_{in}} = 0 \implies \lambda_1 = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} < 0 \implies -6,8.\lambda_1 - 4,15.\lambda_{UR} < 0$$

$$6) \lambda_4, \lambda_5, \lambda_{UR} \geq 0$$

7) contraintes du problème

### Vérification des conditions

$$\lambda_4 \geq 0 \implies M_4 - 2C_{11}(UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2}) \geq 0$$

$$\lambda_5 \geq 0 \implies M_5 - 1200.\lambda_{UR} - 2C_{11}(UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2}) \geq 0$$

comme  $M_5 - 1200.\lambda_{UR} < M_4$ , on a  $\lambda_4 > \lambda_5$

$$\lambda_{UR} \geq 0 \text{ car } -M_{10}/5 \geq 0$$

$$\frac{\delta H}{\delta UR_{in}} < 0 \text{ car } \lambda_1 = 0 \text{ et } \lambda_{UR} \geq 0$$

### Conclusion

Produire

$$F_3^t = UR(3).c_3^{t-2}$$

$$F_4^t = UR(4).c_4^{t-2}$$

$$F_5^t = UR(5).c_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = \frac{1200.UR(5).c_5^{t-2} - URST^{t-1}}{5}$$

$$PU_{in} = 1340.UR(4).c_4^{t-2}$$

$$UR_{in} = 0$$

$$SI \ 1) \ 0 < F_{10}^t < K_{10}$$

$$2) \ UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + UR(5).c_5^{t-2} \leq \frac{M_5 + 240.M_{10}}{2C_{11}}$$



$$3) \text{ PUST}^t = \text{PUST}^{t-1} - 2412 \cdot \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} + 1450 \cdot \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} > 0$$

**Cas 7** : Si dans le cas 6, la contrainte concernant l'uranium extrait n'est pas respectée ( $F_{10}^t < K_{10}$ ) alors on pose  $F_{10}^t = K_{10}$  et on diminue  $F_5^t$  ( $F_5^t < \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}$ ).

#### Situation envisagée

$$F_4^t = \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2}, \quad 0 < F_5^t < \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}, \quad F_{10}^t = K_{10}$$

$$\text{UR}_{\text{in}} = 0, \quad \text{PU}_{\text{in}} > 0, \quad \text{PUST}^t > 0, \quad \text{URST}^t = 0$$

$$\implies \lambda_{\text{FU}}, \lambda_5 = 0$$

#### Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_4^t} = 0 \implies M_4 - 2C_{11}(\text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} + \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} + F_5^t) - \lambda_4 + 1340 \lambda_1 = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_5^t} = 0 \implies M_5 - 2C_{11}(\text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} + \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} + F_5^t) - 1200 \lambda_{\text{UR}} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{\text{in}}} = 0 \implies \lambda_1 = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{\text{in}}} < 0 \implies -4,15 \lambda_{\text{UR}} < 0$$

$$5) \lambda_4, \lambda_{10}, \lambda_{\text{UR}} \geq 0$$

$$6) \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = 0 \implies M_{10} - \lambda_{10} + 5 \cdot \lambda_{\text{UR}} = 0$$

7) contraintes du problème

#### Vérification des conditions

$$\lambda_4 > 0 \implies M_4 - 2C_{11}(\text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} + \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} + F_5^t) > 0$$

$$\text{note: } \text{URST}^t = 0 \implies F_5^t = \frac{5K_{10} + \text{URST}^{t-1}}{1200}$$

1200

Des conditions 2,5 et 6 on tire :

$$\lambda_{10} = 240.M_{10} + M_5 - 2C_{11}(UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + F_5^t)$$

$$\text{Si } \lambda_{10} \geq 0 \implies \lambda_{UR} \geq 0 \text{ car } \lambda_{UR} > -\frac{M_{10}}{5}$$

$$\frac{\delta H}{\delta UR_{in}} < 0 \text{ car } \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} = -4,15.\lambda_{UR}$$

$$\lambda_{UR} > 0 \implies \frac{\delta H}{\delta UR_{in}} < 0$$

### Conclusion

Produire

$$F_3^t = UR(3).c_3^{t-2}$$

$$F_4^t = UR(4).c_4^{t-2}$$

$$F_5^t = \frac{5.K_{10} + URST^{t-1}}{1200}$$

$$F_{10}^t = K_{10}$$

$$PU_{in} = 1340.UR(4).c_4^{t-2}$$

$$UR_{in} = 0$$

$$\text{SI } 1) \ 0 < \frac{5.K_{10} + URST^{t-1}}{1200} < UR(5).c_5^{t-2}$$

$$2) \ UR(3).c_3^{t-2} + UR(4).c_4^{t-2} + \frac{5.K_{10} + URST^{t-1}}{1200} \leq \frac{M_5 + 240.M_{10}}{2C_{11}}$$

$$3) \ PUST^t = PUST^{t-1} - 2412.UR(4).c_4^{t-2} + 1450.UR(3).c_3^{t-2} > 0$$

### 3. Partition de l'ensemble des solutions.

Relativement à l'état des stocks, on peut regrouper les sept cas en quatre types.



a) Type 1 :  $\text{PUST}^t > 0$  ,  $\text{URST}^t > 0$ .

Pour ce type, on distingue un seul cas

$$\text{PU}_{\text{in}} \geq 0 \text{ , } \text{UR}_{\text{in}} \geq 0$$

$$F_3^t = \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} \text{ , } F_4^t = \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} \text{ , } F_5^t = \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}$$

Si la solution existe, ce problème admet une solution simplement indéterminée.

b) Type 2 :  $\text{PUST}^t > 0$  ,  $\text{URST}^t = 0$ .

Proposition

$$\left| \begin{array}{l} \text{PUST}^t > 0 \text{ , } \text{URST}^t = 0 \\ F_4^t > 0 \text{ , } F_{10}^t > 0 \\ \implies \text{PU}_{\text{in}} > 0 \text{ , } \text{UR}_{\text{in}} = 0 \end{array} \right.$$

Démonstration

$$\text{PUST}^t > 0 \implies \lambda_{\text{PU}} = 0$$

$$F_{10}^t > 0 \implies \frac{\delta H}{\delta F_{10}^t} = 0$$

$$\implies \lambda_{\text{UR}} = \frac{-M_{10}}{5}$$

$$\frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{\text{in}}} = -\lambda_{\text{in}} - 1,8 \lambda_{\text{PU}}$$

$$\frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{\text{in}}} = -6,8 \lambda_{\text{in}} + 5,5 \lambda_{\text{PU}} - 4,15 \lambda_{\text{UR}}$$

$F_4^t > 0 \implies$  On se trouve dans une des trois situations qui suivent:

$$1) \text{PU}_{\text{in}} > 0 \text{ et } \text{UR}_{\text{in}} > 0$$

$$2) \text{PU}_{\text{in}} > 0 \text{ et } \text{UR}_{\text{in}} = 0$$

$$3) \text{PU}_{\text{in}} = 0 \text{ et } \text{UR}_{\text{in}} > 0$$

La situation 1 est impossible car

$$\begin{aligned}
 \text{PU}_{\text{in}} > 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{\text{in}}} = 0 \\
 &\implies \lambda_1 = 0 \\
 \text{UR}_{\text{in}} > 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{\text{in}}} = 0 \\
 &\implies -6,8 \lambda_1 + \frac{4,15}{5} M_{10} = 0 \\
 &\implies \frac{4,15}{5} M_{10} = 0 \text{ (impossible)}
 \end{aligned}$$

La situation 2 est possible car

$$\begin{aligned}
 \text{PU}_{\text{in}} > 0 &\implies \lambda_1 = 0 \\
 \text{UR}_{\text{in}} = 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{\text{in}}} < 0 \\
 &\implies \frac{4,15}{5} M_{10} < 0 \text{ (vrai car } M_{10} < 0)
 \end{aligned}$$

La situation 3 est impossible car

$$\begin{aligned}
 \text{UR}_{\text{in}} > 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{\text{in}}} = 0 \\
 &\implies \lambda_1 = \frac{4,15}{6,8.5} M_{10} \\
 \text{PU}_{\text{in}} = 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{\text{in}}} < 0 \\
 &\implies \frac{-4,15}{6,8.5} M_{10} = 0 \text{ (impossible)}
 \end{aligned}$$



On obtient donc les 2 cas distincts suivants:

$$- \text{PU}_{\text{in}} > 0, \text{UR}_{\text{in}} = 0$$

$$F_3^t = \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2}, F_4^t = \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2}, F_5^t = \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}$$

$$0 < F_{10}^t < K_{10}$$

$$- \text{PU}_{\text{in}} > 0, \text{UR}_{\text{in}} = 0$$

$$F_3^t = \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2}, F_4^{t-2} = \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2}$$

$$0 < F_5^t < \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}, F_{10}^t = K_{10}$$

c) Type 3 :  $\text{PUST}^t = 0, \text{URST}^t > 0$ .

#### Proposition

$$\left| \begin{array}{l} \text{PUST}^t = 0, \text{URST}^t > 0 \\ F_4^t > 0 \\ \implies \text{PU}_{\text{in}} > 0, \text{UR}_{\text{in}} > 0 \end{array} \right.$$

#### Démonstration

$$\text{URST}^t > 0 \implies \lambda_{\text{UR}} = 0$$

$$\frac{\delta H}{\delta \text{PU}_{\text{in}}} = -\lambda_1 - 1,8 \lambda_{\text{PU}}$$

$$\frac{\delta H}{\delta \text{UR}_{\text{in}}} = -6,8 \cdot \lambda_1 + 5,5 \cdot \lambda_{\text{PU}}$$

$F_4^t > 0 \implies$  On se trouve dans une des 2 situations  
et  $\text{PUST}^t = 0$  suivantes :

$$1) \text{PU}_{\text{in}} > 0, \text{UR}_{\text{in}} > 0$$

$$2) \text{PU}_{\text{in}} > 0, \text{UR}_{\text{in}} = 0$$

La situation 1 est possible car

$$\begin{aligned} P_{U_{in}} > 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta P_{U_{in}}} = 0 \\ &\implies -\lambda_1 - 1,8\lambda_{PU} = 0 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{R_{in}} > 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta U_{R_{in}}} = 0 \\ &\implies -6,8.\lambda_1 + 5,5.\lambda_{PU} = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

(1) et (2)  $\implies \lambda_1 = \lambda_{PU} = 0$  (aucune contradiction)

La situation 2 est impossible car

$$\begin{aligned} P_{U_{in}} > 0 &\implies \frac{\delta H}{\delta P_{U_{in}}} = 0 \\ &\implies -\lambda_1 - 1,8.\lambda_{PU} = 0 \\ &\implies \lambda_1 = -1,8.\lambda_{PU} \\ &\quad (\lambda_1 \text{ est négatif car } \lambda_{PU} \text{ doit être positif}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{R_{in}} = 0 &\implies \frac{\delta H}{U_{R_{in}}} < 0 \\ &\implies -6,8.\lambda_1 + 5,5.\lambda_{PU} < 0 \\ &\quad \text{impossible car } \lambda_1 < 0 \text{ et } \lambda_{PU} > 0 \end{aligned}$$

On n'a donc que le cas suivant

$$- P_{U_{in}} > 0, U_{R_{in}} > 0$$

$$F_3^t = UR(3).c_3^{t-2}, F_4^t = UR(4).c_4^{t-2}, F_5^t = UR(5).c_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = 0$$



d) Type 4 :  $\text{PUST}^t = 0$  ,  $\text{URST}^t = 0$

Proposition

$$\left| \begin{array}{l} \text{PUST}^t = 0 , \text{URST}^t = 0 \\ F_4^t > 0 , F_{10}^t > 0 \\ \implies \text{PU}_{\text{in}} > 0 , \text{UR}_{\text{in}} > 0 \end{array} \right.$$

Démonstration

Démonstration semblable au cas précédent.

On obtient donc les 3 cas distincts qui suivent

$$- \text{PU}_{\text{in}} > 0 , \text{UR}_{\text{in}} > 0$$

$$F_3^t = \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} , F_4^t = \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} , F_5^t = \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}$$

$$0 < F_{10}^t < K_{10}$$

$$- \text{PU}_{\text{in}} > 0 , \text{UR}_{\text{in}} > 0$$

$$F_3^t = \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} , F_4^t = \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} , 0 < F_5^t < \text{UR}(5) \cdot C_5^{t-2}$$

$$F_{10}^t = K_{10}$$

$$- \text{PU}_{\text{in}} > 0 , \text{UR}_{\text{in}} > 0$$

$$F_3^t = \text{UR}(3) \cdot C_3^{t-2} , 0 < F_4^t < \text{UR}(4) \cdot C_4^{t-2} , F_5^t = 0$$

$$F_{10}^t = K_{10}$$

Conclusion

L'ensemble des cas étudiés forment bien une partition de l'ensemble des solutions admissibles.

## CHAPITRE 6

### RESOLUTION DU SOUS-PROBLEME RELATIF

#### AUX EQUIPEMENTS NON NUCLEAIRES

Le sous-problème relatif aux équipements non nucléaires est plus long à résoudre. En effet, on y fait usage d'un nombre quelconque d'équipements contribuant aussi bien à la demande électrique qu'à la demande non électrique. Cependant, comme on l'a vu au chapitre quatre, la plupart des technologies employées ( ELE(i) , NELE(j) ) sont soumises à un même type de contraintes (contraintes liées aux dépassements de capacité et à la disponibilité en ressources). Seuls les équipements au charbon sont soumis à une contrainte particulière; on a:

$$F_1^t \leq UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t \leq UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$F_8^t \leq K_8$$

$$F_9^t \leq K_9$$

soumis à la contrainte

$$\frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2} = F_8^t + F_9^t$$

Ce sont ces équipements qui nous permettront de définir les différentes situations à envisager et à soumettre aux conditions de Kuhn et Tucker, mais avant nous nous attacherons d'abord à limiter le nombre de situations possibles en établissant un ordre de priorités dans le domaine des équipements électriques et non électriques.



# 1. Conditions de Kuhn et Tucker.

## a) Notations.

$n + 1$  = Nombre total d'équipements électriques considérés  
 $(ELE(i), F_1^t)$

$m + 1$  = Nombre total d'équipements non électriques  
 considérés  $(ELE(j), F_2^t)$

$\alpha$  = Nombre d'équipements  $ELE(i)$  effectivement utilisés  
 $0 < \alpha \leq n$

$\beta$  = Nombre d'équipements  $NELE(j)$  effectivement utilisés  
 $0 < \alpha \leq m$

## b) Conditions.

$$\text{Soit } H = F_B - \lambda_1 g_1 - \lambda_2 g_2 - \sum_{i=1}^n \lambda_{ELE(i)} g_{ELE(i)} - \sum_{j=1}^m \lambda_{NELE(j)} g_{NELE(j)}$$

Les conditions à vérifier sont les suivantes

$$1) F_1^t - UR(1) C_1^{t-1} \leq 0 \quad (=g_1)$$

$$F_2^t - UR(2) C_2^{t-1} \leq 0 \quad (=g_2)$$

$$F_8^t - K_8 \leq 0$$

$$F_9^t - K_9 \leq 0$$

$$ELE(i) - CELE(i) \leq 0 \quad (=g_{ELE(i)})$$

$$NELE(j) - CNELE(j) \leq 0 \quad (=g_{NELE(j)})$$

$$\frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2} - F_8^t - F_9^t = 0$$

$$\begin{aligned}
2) \quad & (F_1^t - UR(1) \cdot C_1^{t-1}) \cdot \lambda_1 = 0 \text{ et } \lambda_1 \geq 0 \\
& (F_2^t - UR(2) \cdot C_2^{t-1}) \cdot \lambda_2 = 0 \text{ et } \lambda_2 \geq 0 \\
& (F_8^t - K_8) \cdot \lambda_8 = 0 \text{ et } \lambda_8 \geq 0 \\
& (F_9^t - K_9) \cdot \lambda_9 = 0 \text{ et } \lambda_9 \geq 0 \\
& (ELE(i) - CELE(i)) \cdot \lambda_{ELE(i)} = 0 \text{ et } \lambda_{ELE(i)} \geq 0 \\
& (NELE(j) - CNELE(j)) \cdot \lambda_{NELE(j)} = 0 \text{ et } \lambda_{NELE(j)} \geq 0
\end{aligned}$$

$$\left\{ \frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2} - F_8^t + F_9^t \right\} \cdot \lambda_h = 0 \text{ et } \lambda_h \text{ quelconque}$$

$$3) \quad \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = M_1 - 2 \cdot C_{11} \cdot DEL^t - 2 \cdot C_{12} \cdot DNE^t - \lambda_1 - \frac{\lambda_h}{CE_1}$$

où  $M_1 = C'_1 - C_1$

$$\frac{\delta H}{\delta F_2^t} = M_2 - 2 \cdot C_{11} \cdot DEL^t - 2 \cdot C_{12} \cdot DNE^t - \lambda_2 - \frac{\lambda_h}{CE_2}$$

où  $M_2 = C'_2 - C_2$

$$\frac{\delta H}{\delta F_8^t} = -M_8 - \lambda_8 + \lambda_h$$

où  $M_8 = C_8$

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} = -M_9 - \lambda_9 + \lambda_h$$

où  $M_9 = C_9$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} = TEQE(i) - 2 \cdot C_{11} \cdot DEL^t - 2 \cdot C_{12} \cdot DNE^t - \lambda_{ELE(i)}$$

où  $TEQE(i) = C'_1 - C'_i$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} = TNEQE(j) - 2 \cdot C_{12} \cdot DEL^t - 2 \cdot C_{22} \cdot DNE^t - \lambda_{NELE(j)}$$

où  $TNEQE(j) = C'_2 - C''_j$

$$\text{où } DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + F_1^t + Q$$

Q = état de la demande électrique après la  
production nucléaire

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} NELE(j) + F_2^t$$



## 2. Classements par priorité des équipements électriques et non électriques.

### a) Equipements électriques.

Nous avons  $n$  équipements à classer :

$$ELE(i) : i=1 \text{ à } n$$

$$F_1^t (F_8^t) : \text{HCPWS fonctionnant au charbon extrait}$$

$$F_1^t (F_9^t) : \text{HCPWS fonctionnant au charbon importé}$$

Sur base des termes  $TEQE(i)$ ; on peut ranger par ordre décroissant les équipements  $ELE(i)$ . Il nous reste alors à insérer dans ce classement les équipements fonctionnant au charbon.

Soit  $a$  = ordre de  $F_1^t$  (fonctionnant avec  $F_8^t$ ) dans le classement des équipements électriques

$F_1^t(F_8^t)$  est préférable à  $ELE(i)$  si et seulement si

$$M_1 - \frac{M_8}{CE_1} > TEQE(i)$$

On peut donc définir  $a$  comme étant l'ordre de l'équipement  $ELE(i)$  dont le terme constant  $TEQE(i)$  est directement inférieur à  $M_1 - M_8/CE_1$ .

De la même façon, on peut affirmer que  $F_1^t(F_9^t)$  est préférable à  $ELE(i)$  si et seulement si

$$M_1 - \frac{M_9}{CE_1} > TEQE(i)$$

Soit alors  $C$  = ordre de  $F_1^t$  (fonctionnant avec  $F_9^t$ ) dans le classement des équipements électriques.

b) Equipements non électriques.

Nous avons  $m$  équipements à classer

$NELE(j) : j = 1 \text{ à } m$

$F_2^t (F_8^t) : HCLIQ \text{ fonctionnant au charbon extrait}$

$F_2^t (F_9^t) : HCLIQ \text{ fonctionnant au charbon importé}$

Comme ci-dessus, nous classons les équipements non électriques par ordre décroissant à partir des termes  $TNEQE(j)$  et nous insérons dans ce classement les équipements au charbon.

Soit  $b = \text{ordre de } F_2^t \text{ (fonctionnant avec } F_8^t) \text{ dans le classement des équipements non électriques.}$

$d = \text{ordre de } F_2^t \text{ (fonctionnant avec } F_9^t) \text{ dans le classement des équipements non électriques.}$

On aura de même

$F_2^t (F_8^t)$  préférable à  $NELE(j)$  si et seulement si

$$M_2 - \frac{M_8}{CE_2} > TNEQE(j)$$

$F_2^t (F_9^t)$  préférable à  $NELE(j)$  si et seulement si

$$M_2 - \frac{M_9}{CE_1} > TNEQE(j)$$

c) Remarques.

L'utilisation du charbon extrait est toujours préférable à celle du charbon importé.

L'usage de  $F_9^t$  implique donc que  $F_8^t = K_8$ .



De même, on aura toujours les relations suivantes

$$1) a \leq c$$

$$2) b \leq d$$

Nous supposerons dorénavant que les coefficients  $i$  et  $j$  des variables  $ELE(i)$  et  $NELE(j)$  sont également l'ordre de ces équipements dans les classements respectifs. Au besoin, une renumérotation sera donc effectuée.

### 3. Solutions du sous-problème : justification du caractère

optimal de ces solutions et expression de leur région de confiance.

Si l'on veut se limiter uniquement aux équipements  $ELE(i)$  et  $NELE(j)$  les solutions trouvées et vérifiant les conditions de Kuhn et Tucker sont toutes d'un même type. En effet, le principe en serait le suivant :

Si  $ELE(\alpha)$  est le dernier équipement électrique employé, on sait que tous ceux qui le précèdent sont utilisés au maximum de leur capacité et que les variables de fonctionnement de ceux qui le suivent seront nulles.

Quant à  $ELE(\alpha)$ , il peut soit être partiellement utilisé, soit également au maximum de sa capacité.

On aurait alors la situation suivante :

$$\begin{aligned} ELE(i) &= CELE(i) && \text{pour } i=1 \text{ jusque } \alpha - 1 \\ 0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha) && \text{ou } ELE(\alpha) = CELE(\alpha) \\ ELE(i) &= 0 && \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n \end{aligned}$$

On peut effectuer le même raisonnement à propos des équipements non électriques.

On obtient alors :

$$\begin{aligned} NELE(j) &= CNELE(j) && \text{pour } j=1 \text{ jusque } \beta - 1 \\ 0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta) && \text{ou } NELE(\beta) = CNELE(\beta) \\ NELE(j) &= 0 && \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m \end{aligned}$$

L'utilisation de  $F_1^t$  et  $F_2^t$  modifie quelque peu le problème : on n'a plus la même similitude dans les solutions, les conditions et les contraintes sont d'un autre type.

C'est pourquoi, nous allons par la suite centrer chacune des situations sur l'usage qui est fait de  $F_1^t$  et  $F_2^t$ .

Celui-ci pourra être nul, partiel ou maximal selon l'état des demandes en énergie et sera évidemment lié à une utilisation nulle, partielle ou maximale de  $F_8^t$  et  $F_9^t$ .

Précisons cela par un exemple.



Soit la situation  $F_1^t = 0$  ,  $F_2^t = 0$  ,  $F_8^t = 0$  ,  $F_9^t = 0$

$F_1^t$  et  $F_2^t$  n'étant pas employés, il faut considérer l'usage des  $(a-1)$  équipements  $ELE(i)$  et des  $(b-1)$  équipements  $NELE(j)$  qui sont plus prioritaires.

La solution correspondra à une des 4 situations qui suivent:

$$1^\circ \quad ELE(i) = CELE(i) \quad i = 1 \text{ jusqu' } \alpha$$

$$1 \leq \alpha < a$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad j = 1 \text{ jusqu' } \beta$$

$$1 \leq \beta < b$$

$\Rightarrow$  utilisation maximale de tous les équipements  $ELE(i)$  et  $NELE(j)$

$$2^\circ \quad 0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha) \quad 1 \leq \alpha < a$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad i = 1 \text{ jusqu' } \alpha - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad j = 1 \text{ jusqu' } \beta$$

$$1 \leq \beta < b$$

$\Rightarrow$  utilisation partielle de l'équipement  $ELE(\alpha)$

$$3^\circ \quad 0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta) \quad 1 \leq \beta < b$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad j = 1 \text{ jusqu' } \beta - 1$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad i = 1 \text{ jusqu' } \alpha$$

$$1 < \alpha < a$$

$\Rightarrow$  utilisation partielle de l'équipement  $NELE(\beta)$

$$4^\circ \quad 0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha) \quad 1 \leq \alpha < a$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad i = 1 \text{ jusqu' } \alpha - 1$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta) \quad 1 \leq \beta < b$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad j = 1 \text{ jusqu' } \beta - 1$$

$\Rightarrow$  utilisation partielle des équipements  $ELE(\alpha)$  et  $NELE(\beta)$ .

Les cas qui suivent ont été déterminés comme dans l'exemple ci-dessus à partir de l'utilisation qui est faite des équipements au charbon.

Pour chacun d'eux, nous envisageons une utilisation partielle respectivement du dernier équipement électrique et du dernier équipement non électrique (point 4 dans l'exemple ci-dessus) : les autres types d'usage (points 1 à 3) seront traités en annexe.

Cependant, comme nous allons le montrer ci-dessous, il est possible de simplifier fortement le travail, en effet, beaucoup de situations sont déductibles d'autres et on peut obtenir très facilement les solutions correspondantes ainsi que les nouvelles régions de confiance par simple modification d'un facteur ou d'un indice ou encore par symétrie dans l'usage de  $F_1^t$  ou de  $F_2^t$ .



A) CAS -1-Situation envisagée

$$F_1^t = 0, F_2^t = 0, F_8^t = 0, F_9^t = 0$$

$$0 < \text{ELE}(\alpha) < \text{CELE}(\alpha) \quad 0 < \alpha < a$$

$$\text{ELE}(i) = \text{CELE}(i) \text{ pour } i = 1 \text{ jusqu'au } \alpha - 1$$

$$0 < \text{NELE}(\beta) < \text{CNELE}(\beta) \quad 0 < \beta < b$$

$$\text{NELE}(j) = \text{CNELE}(j) \text{ pour } j = 1 \text{ jusqu'au } \beta - 1$$

$$\text{ELE}(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'au } n$$

$$\text{NELE}(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'au } m$$

$$\Rightarrow \lambda_1, \lambda_2, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{\text{ELE}(\alpha)}, \lambda_{\text{NELE}(\beta)} = 0$$

$$\lambda_{\text{ELE}(i)} = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'au } n$$

$$\lambda_{\text{NELE}(j)} = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'au } m$$

Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} < 0 \Rightarrow M_1 - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \frac{\lambda_h}{\text{CE}_1} < 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} < 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t - \frac{\lambda_h}{\text{CE}_2} < 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} < 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h < 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h < 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(\alpha)} = 0 \Rightarrow \text{TEQE}(\alpha) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t = 0$$

$$6) \frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(i)} = 0 \Rightarrow \text{TEQE}(i) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{ELE}(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusqu'au  $\alpha - 1$

$$7) \frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(\beta)} = 0 \Rightarrow \text{TNEQE}(\beta) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t = 0$$

$$8) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} = 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

$$9) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$10) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$11) \lambda_{ELE(i)} \geq 0 \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$\lambda_{NELE(j)} \geq 0 \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

12) Contraintes du problème

Valeurs de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) + ELE(\alpha) + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) + NELE(\beta)$$

Calcul de  $ELE(\alpha)$ ,  $NELE(\beta)$

Des conditions 5 et 7, on tire :

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) \cdot C_{22} - TNEQE(\beta) \cdot C_{12}}{2(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) \cdot C_{11} - TEQE(\alpha) \cdot C_{12}}{2(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$\Rightarrow ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - Q$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j)$$



### Vérification des contraintes

$$\frac{\delta H}{\delta F_1^t} < 0 \quad \text{car } M_1 - M_8 / CE_1 < TEQE (\alpha)$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_2^t} < 0 \quad \text{car } M_2 - M_8 / CE_2 < TNEQE (\beta)$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \quad \text{car } M_9 > M_8$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE (i) < TEQE (\alpha) \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE (j) < TNEQE (\beta) \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

$$\lambda_{ELE (i)} \geq 0 \quad \text{car } TEQE (i) > TEQE (\alpha) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$\lambda_{NELE(j)} \geq 0 \quad \text{car } TNEQE (j) > TNEQE (\beta) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

### Conclusion

$$\text{Produire } F_1^t = F_2^t = F_8^t = F_9^t = 0$$

$$ELE (i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$NELE (j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

$$ELE (i) = CELE (i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$NELE (j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

$$ELE(\alpha) = \frac{TEQE(\alpha) \cdot C_{22} - TNEQE(\beta) \cdot C_{11}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE (i) - Q$$

$$NELE(\beta) = \frac{TNEQE(\beta) \cdot C_{11} - TEQE(\alpha) \cdot C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE (j)$$

$$\text{si } 0 < ELE (\alpha) < CELE (\alpha)$$

$$0 < NELE (\beta) < CNELE (\beta)$$

B) CAS -2-Situation envisagée

$$0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}, F_2^t = 0,$$

$$C < F_8^t < K_8, F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } a - 1$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta) \quad 0 < \beta < b$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = a \text{ jusqu'à } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

$$\Rightarrow \lambda_1, \lambda_2, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{NELE(\beta)} = 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} = 0 \quad \text{pour } i = a \text{ jusqu'à } n$$

$$\lambda_{NELE(j)} = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \Rightarrow M_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \frac{\lambda_h}{CE_1} = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} < 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \frac{\lambda_h}{CE_2} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h < 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusqu'à  $a - 1$

$$6) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} = 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = 1$  jusqu'à  $\beta - 1$

$$7) \frac{\delta H}{\delta NELE(\beta)} = 0 \Rightarrow TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t = 0$$



$$8) \frac{\delta H}{\delta_{ELE} (i)} < 0 \implies TEQE (i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

pour  $i = a$  jusque  $n$

$$9) \frac{\delta H}{\delta_{NELE} (j)} < 0 \implies TNEQE (j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$10) \lambda_{ELE} (i) \geq 0 \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } a - 1$$

$$\lambda_{NELE} (j) \geq 0 \quad \text{Pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

11) Contraintes du problème

Valeurs de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{a-1} CELE (i) + F_1^t + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE (j) + NELE (\beta)$$

Calcul de  $F_1^t$ ,  $NELE (\beta)$

Des conditions 1 et 7, on tire :

$$DEL^t = \frac{(M_1 - M_8 / CE_1) C_{22} - C_{12} TNEQE (\beta)}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE (\beta) \cdot C_{11} - (M_1 - M_8 / CE_1) C_{22}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$\implies F_1^t = DEL^t - \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) - Q$$

$$NELE (\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE (j)$$

Conclusion

$$\text{Produire } F_1^t = \frac{(M_1 - M_8 / CE_1) C_{22} - C_{12} TNEQE (\beta)}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) - Q$$

$$\text{ELE}(i) = \text{CELE}(i) \quad i = 1 \rightarrow a - 1$$

$$\text{NELE}(\beta) = \frac{\text{TNEQE}(\beta) \cdot C_{11} - (M_1 - M_8 / \text{CE}_1) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{\beta-1} \text{CNELE}(j)$$

$$\text{NELE}(j) = \text{CNELE}(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1$$

$$\text{ELE}(i) = 0 \quad \text{pour } i = a \text{ jusqu'à } n$$

$$\text{NELE}(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

$$F_8^t = F_1^t / \text{CE}_1$$

$$F_9^t = 0$$

$$F_2^t = 0$$

$$\text{si} \quad 0 < F_1^t < \text{UR}(1) \cdot C_1^t - 1$$

$$0 < \text{NELE}(\beta) < \text{CNELE}(\beta)$$

$$0 < F_8^t < K_8$$

Situations déductibles du cas 2  
.....

**CAS -3-**

Dans le cas -2 -, on procède au changement suivant :

$$F_8^t = K_8$$

$$0 < F_9^t < K_9$$

$$F_9^t = \frac{F_1^t}{\text{CE}_1} - K_8$$

La solution peut être écrite directement en remplaçant dans la conclusion

$$M_8 \text{ par } M_9$$

$$a \text{ par } c$$

et en substituant à la contrainte portant sur  $F_8^t$  une contrainte de même type portant sur  $F_9^t$



CAS -4- et CAS -5-

Ces deux cas sont les symétriques respectivement des cas 2 et 3, dans lesquels on considère

$$F_9^t = 0$$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

au lieu de

$$F_2^t = 0$$

$$0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

Exemple : On peut écrire directement

$$F_2^t = \frac{(M_2 - M_8 / CE_2) C_{11} - C_{12} \cdot TEQE(\alpha)}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^b CNELE(j)$$

ou encore

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad j \rightarrow b - 1$$

c) CAS -6-

Situation envisagée

$$0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}, F_2^t = 0$$

$$F_8^t = K_8, F_9^t = 0$$

$$0 \leq ELE(\alpha) \leq CELE(\alpha)$$

$$a \leq \alpha < c$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

$$\text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$0 < \beta < d$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

$$\text{pour } j = \text{jusque } \beta - 1$$

$$ELE(i) = 0$$

$$\text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$NELE(j) = 0$$

$$\text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

$$\Rightarrow \lambda_1, \lambda_2, \lambda_9, \lambda_{ELE(\alpha)}, \lambda_{NELE(\beta)} = 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} = 0$$

$$\text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$\lambda_{NELE(j)} = 0$$

$$\text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

Conditions à vérifier

- 1)  $\frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \implies M_1 - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \lambda_h / CE_1 = 0$
- 2)  $\frac{\delta H}{\delta F_2^t} < 0 \implies M_2 - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t - \lambda_h / CE_2 = 0$
- 3)  $\frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \implies -M_8 - \lambda_8 + \lambda_h = 0$
- 4)  $\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \implies -M_9 + \lambda_h < 0$
- 5)  $\frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(i)} = 0 \implies \text{TEQE}(i) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{ELE}(i)} = 0$   
pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$
- 6)  $\frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(\alpha)} = 0 \implies \text{TEQE}(\alpha) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{NELE}(j)} = 0$
- 7)  $\frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} = 0 \implies \text{TNEQE}(j) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{NELE}(j)} = 0$   
pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$
- 8)  $\frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(\beta)} = 0 \implies \text{TNEQE}(\beta) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t = 0$
- 9)  $\frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(i)} < 0 \implies \text{TEQE}(i) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t < 0$   
pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$
- 10)  $\frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} < 0 \implies \text{TNEQE}(j) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t < 0$   
pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$
- 11)  $\lambda_8 \geq 0$   
 $\lambda_{\text{ELE}(i)} \geq 0$  pour  $i = 0$  jusque  $\alpha - 1$   
 $\lambda_{\text{NELE}(j)} \geq 0$  pour  $j = 0$  jusque  $\beta - 1$
- 12) Contraintes du problème



Valeurs de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$ ,  $F_1^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + ELE(\alpha) + F_1^t + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j) + NELE(\beta)$$

$$F_1^t = CE_1 \cdot K_8$$

Calcul de  $ELE(\alpha)$ ,  $NELE(\beta)$

Des équations 6 et 8, on tire :

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) \cdot C_{22} - TNEQE(\beta) \cdot C_{12}}{2(C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) \cdot C_{11} - TEQE(\alpha) \cdot C_{12}}{2(C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$\Rightarrow ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) - CE_1 \cdot K_8 - Q$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

Vérification des contraintes

$$\lambda_{ELE(i)} > 0 \quad \text{car } TEQE(i) > TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } \alpha - 1$$

$$\lambda_{NELE(j)} > 0 \quad \text{car } TNEQE(j) > TNEQE(\beta) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE(i) < TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'à } n$$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE(j) < TNEQE(\beta) \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

$\lambda_8 \geq 0$  n'est pas toujours vrai

Il faut pour cela que

$$CE_2 (M_2 - TNEQE (\beta)) \leq CE_1 (M_1 - TEQE (\alpha))$$

Cette relation est déterminée à partir des conditions 1, 2, 3 et 4.

### Conclusion

Produire  $F_1^t = CE_1 \cdot K_8$

$$F_2^t = 0$$

$$F_8^t = K_8$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(\alpha) = \frac{TEQE(\alpha) C_{22} - TNEQE(\beta) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) - CE_1 K_8 - Q$$

$$NELE(\beta) = \frac{TNEQE(\beta) C_{11} - TEQE(\alpha) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } \alpha - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'à } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

si  $0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$CE_2 (M_2 - TNEQE(\beta)) \leq CE_1 (M_1 - TEQE(\alpha))$$

Situations déductibles du cas 6  
.....

CAS -7-

Considérons ici la modification des quantités  $F_8^t$  et  $F_9^t$  du cas -6-  
par

$$F_8^t = K_8$$

$$F_9^t = K_9$$



Il suffit alors d'ajuster les conclusions précédentes en modifiant la valeur de  $F_1^t$

$$F_1^t = (K_8 + K_9) CE_1$$

et la contrainte lui correspondant

**CAS -8-** et **CAS -9-**

Les cas 8 et 9 sont les symétriques des cas 6 et 7 quant à l'usage qui est fait de  $F_1^t$  et  $F_2^t$

On considère

$$F_1^t = 0$$

$$F_2^t = K_8 \cdot CE_2 ((K_8 + K_9) \cdot CE_1)$$

au lieu de

$$F_1^t = K_8 \cdot CE_1 ((K_8 + K_9) \cdot CE_1)$$

$$F_2^t = 0$$

D) **CAS -10-**

Situation envisagée

$$0 < F_1^t < UR (1) \cdot C_1^{t-1}, 0 < F_2^t < UR (2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$0 < F_8^t < K_8, F_9^t = 0$$

$$ELE (i) = CELE (i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } a - 1$$

$$NELE (j) = CNELE (j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } b - 1$$

$$ELE (i) = 0 \quad \text{pour } i = a \text{ jusqu'à } n$$

$$NELE (j) = 0 \quad \text{pour } j = b \text{ jusqu'à } m$$

$$\Rightarrow \lambda_1, \lambda_2, \lambda_8, \lambda_9 = 0$$

$$\lambda_{ELE (i)} = 0 \quad \text{pour } i = a \text{ jusqu'à } n$$

$$\lambda_{NELE (j)} = 0 \quad \text{pour } j = b \text{ jusqu'à } m$$

Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \implies M_1 - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \frac{\lambda_h}{CE_1} = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} = 0 \implies M_2 - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t - \frac{\lambda_h}{CE_2} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \implies -M_8 + \lambda_h = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \implies -M_9 + \lambda_h < 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(i)} = 0 \implies \text{TEQE}(i) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{ELE}(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusque  $a - 1$

$$6) \frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} = 0 \implies \text{TNEQE}(j) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{NELE}(j)} = 0$$

pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$

$$7) \frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(i)} = 0 \implies \text{TEQE}(i) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t < 0$$

pour  $i = a$  jusque  $n$

$$8) \frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} = 0 \implies \text{TNEQE}(j) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t < 0$$

pour  $j = b$  jusque  $m$

$$9) \lambda_{\text{ELE}(i)} \geq 0 \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } a - 1$$

$$\lambda_{\text{NELE}(j)} \geq 0 \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } b - 1$$

10) Contraintes du problème

Valeurs de  $\text{DEL}^t$ ,  $\text{DNE}^t$ 

$$\text{DEL}^t = \sum_{i=1}^{a-1} \text{CELE}(i) + F_1^t + Q$$

$$\text{DNE}^t = \sum_{j=1}^{b-1} \text{CNELE}(j) + F_2^t$$



Recherche de  $F_1^t, F_2^t$   
-----

Des conditions 1 et 2, on tire :

$$DEL^t = \frac{(M_1 - M_8 / CE_1) C_{22} - (M_2 - M_8 / CE_2) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$DNE^t = \frac{(M_2 - M_8 / CE_2) C_{11} - (M_1 - M_8 / CE_1) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$\Rightarrow F_1^t = DEL^t - \sum_{i=1}^a 1 \text{ CELE } (i) - Q$$

$$F_2^t = DNE^t - \sum_{j=1}^b 1 \text{ CNELE } (j)$$

Vérification des conditions

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \quad \text{car } M_9 > M_8$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE(i) < M_1 - M_8 / CE_1$$

pour  $i = a$  jusque  $n$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE(j) < M_2 - M_8 / CE_2$$

pour  $j = b$  jusque  $m$

$$\lambda_{ELE}(i) \geq 0 \quad \text{car } TEQE(i) > M_1 - M_8 / CE_1$$

pour  $i = 1$  jusque  $a - 1$

$$\lambda_{NELE}(j) \geq 0 \quad \text{car } TNEQE(j) > M_2 - M_8 / CE_2$$

pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$

Conclusion

Produire	ELE (i) = CELE (i)	pour $i = 1$ jusque $a - 1$
	NELE (j) = CNELE (j)	pour $j = 1$ jusque $b - 1$
	ELE (i) = 0	pour $i = a$ jusque $n$
	NELE (j) = 0	pour $j = b$ jusque $m$

$$F_1^t = \frac{(M_1 - M_8 / CE_1) C_{22} - (M_2 - M_8 / CE_2) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^a \frac{1}{CELE(i) - Q}$$

$$F_2^t = \frac{(M_2 - M_8 / CE_2) C_{11} - (M_1 - M_8 / CE_1) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^b \frac{1}{CNELE(j)}$$

$$F_8^t = \frac{F_1^t}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2}$$

$$F_9^t = 0$$

si  $0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-2}$$

$$0 < F_8^t < K_8$$

avec  $F_1^t, F_2^t, F_8^t$  donnés ci-dessus

Situation déductible du cas 10  
.....

**CAS -11-**

Dans le cas -10-, on remplace

$$0 < F_8^t < K_8$$

$$F_9^t = 0$$

par

$$F_8^t = K_8$$

$$0 < F_9^t < K_9$$

La solution du cas -11- est obtenue en remplaçant dans celle du cas -10-

$M_8$  par  $M_9$

$a$  par  $c$

$b$  par  $d$



Exemple :

$$F_2^t = \frac{(M_2 - M_9 / CE_2) C_{11} - (M_1 - M_9 / CE_1) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^d \bar{1} \text{ CNELE } (j)$$

E) CAS -12-

Situation envisagée

$$F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}, F_2^t = 0$$

$$0 < F_8^t < K_8, F_9^t = 0$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

$$NELE(j) = 0$$

$$ELE(i) = 0$$

$$0 < \beta < b$$

$$\text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$\text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } \alpha - 1$$

$$\text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

$$\text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'à } n$$

$$\Rightarrow \lambda_2, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{ELE(\alpha)}, \lambda_{NELE(\beta)} = 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} = 0$$

$$\text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'à } n$$

$$\lambda_{NELE(j)} = 0$$

$$\text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \Rightarrow M_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_1 - \frac{\lambda_h}{CE_1} = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} < 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \frac{\lambda_h}{CE_2} < 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h < 0$$

- 5)  $\frac{\delta H}{\delta_{ELE}(i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_{ELE(i)} = 0$   
pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$
- 6)  $\frac{\delta H}{\delta_{ELE}(\alpha)} = 0 \Rightarrow TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t = 0$
- 7)  $\frac{\delta H}{\delta_{NELE}(j)} = 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \lambda_{NELE(j)} = 0$   
pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$
- 8)  $\frac{\delta H}{\delta_{NELE}(\beta)} = 0 \Rightarrow TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t = 0$
- 9)  $\frac{\delta H}{\delta_{ELE}(i)} < 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$   
pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$
- 10)  $\frac{\delta H}{\delta_{NELE}(j)} < 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$   
pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$
- 11)  $\lambda_1 \geq 0$   
 $\lambda_{ELE}(i) \geq 0$  pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$   
 $\lambda_{NELE}(j) \geq 0$  pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$
- 12) Contraintes du problème

Valeurs de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha-1} C_{ELE}(i) + ELE(\alpha) + UR(1) \cdot C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta-1} C_{NELE}(j) + NELE(\beta)$$

Recherche de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$

Des conditions 6 et 8 et des équations ci-dessus, on tire

$$(*) \quad ELE(\alpha) = \frac{TEQE(\alpha) \cdot C_{22} - TNEQE(\beta) \cdot C_{12}}{2(C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{\alpha-1} C_{ELE}(i) - UR(1) \cdot C_1^{t-1} - Q$$



$$(**) \quad NELE(\beta) = \frac{TNEQE(\beta) \cdot C_{11} - TEQE(\alpha) \cdot C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j)$$

### Vérification des contraintes

$$\frac{\delta H}{\delta F_2^t} < 0 \quad \text{car } M_2 - \frac{M_8}{CE_2} < TNEQE(\beta)$$

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \quad \text{car } M_9 > M_8$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE(i) < TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE(j) < TNEQE(\beta) \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

$$\lambda_1 \geq 0 \quad \text{car } M_1 - M_8 / CE_1 > TEQE(\alpha)$$

$$\lambda_{ELE(i)} \geq 0 \quad \text{car } TEQE(i) > TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$\lambda_{NELE(j)} \geq 0 \quad \text{car } TNEQE(j) > TNEQE(\beta) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

### Conclusion

$$\text{Produire } F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t = 0$$

$$F_8^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1} / CE_1$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$ELE(\alpha) \text{ donné par } (*)$$

$$NELE(\beta) \text{ donné par } (**)$$

$$\text{si} \quad 0 < F_8^t < K_8$$

$$0 < \text{ELE}(\alpha) < \text{CELE}(\alpha)$$

$$0 < \text{NELE}(\beta) < \text{CNELE}(\beta)$$

avec  $F_8^t$ ,  $\text{ELE}(\alpha)$ ,  $\text{NELE}(\beta)$  donnés  
ci-dessus.

Situations déductibles du cas 12

**CAS -13-**

Dans le cas -12-, on pose

$$F_8^t = K_8$$

$$0 < F_9^t < K_9$$

$$F_9^t = \frac{\text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1}}{\text{CE}_1} - K_8$$

La conclusion est alors la même que ci-dessus sauf que l'on  
remplace

a par c

b par d

$M_8$  par  $M_9$

De même, la contrainte en  $F_8^t$  est remplacée par une contrainte  $F_9^t$

**CAS -14-** et **CAS -15-**

Ces deux cas sont les symétriques par rapport aux quantités  
 $F_1^t$  et  $F_2^t$  des cas 12 et 13

On considère donc  $F_2^t = \text{UR}(2) \cdot C_2^{t-1}$

$$F_1^t = 0$$

au lieu de

$$F_1^t = \text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t = 0$$



F) CAS -16-Situation à envisager

$$F_1^t = UR (1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$0 < F_2^t < UR (2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$0 < F_8^t < K_8, \quad F_9^t = 0$$

$$0 < ELE (\alpha) < CELE (\alpha)$$

$$ELE (i) = CELE (i)$$

$$NELE (j) = CNELE (j)$$

$$ELE (i) = 0$$

$$NELE (j) = 0$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$ pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$ pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ pour  $j = b$  jusque  $m$ 

$$\Rightarrow \lambda_2, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{ELE} (\alpha) = 0$$

$$\lambda_{ELE} (i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ 

$$\lambda_{NELE} (j) = 0$$

pour  $j = b$  jusque  $m$ Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \Rightarrow M_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_1 - \frac{\lambda_h}{CE_1} = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} = 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{22} DNE^t - \frac{\lambda_h}{CE_2} - 2C_{12} DEL^t = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h < 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta ELE (i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$$6) \frac{\delta H}{\delta ELE (\alpha)} = 0 \Rightarrow TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t = 0$$

$$7) \frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} = 0 \implies \text{TNEQE}(j) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t - \lambda_{\text{NELE}(j)} = 0$$

pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$

$$8) \frac{\delta H}{\delta \text{ELE}(i)} \leq 0 \implies \text{TEQE}(i) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t < 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$9) \frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} < 0 \implies \text{TNEQE}(j) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t < 0$$

pour  $j = b$  jusque  $m$

$$10) \lambda_1 \geq 0$$

$$\lambda_{\text{ELE}}(i) \geq 0 \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$\lambda_{\text{NELE}}(j) \geq 0 \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } b - 1$$

11) Contraintes du problème

Valeurs de  $\text{DEL}^t$  et  $\text{DNE}^t$

$$\text{DEL}^t = \sum_{i=1}^{\alpha-1} \text{CELE}(i) + \text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1} + \text{ELE}(\alpha) + Q$$

$$\text{DNE}^t = \sum_{j=1}^{b-1} \text{CNELE}(j) + F_2^t$$

Recherche de  $F_2^t$ ,  $\text{ELE}(\alpha)$ ,  $F_8^t$

Des conditions 2 et 6, on tire

$$\text{DEL}^t = \frac{C_{22} \cdot \text{TEQE}(\alpha) - (M_2 - M_8 / \text{CE}_2) C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$\text{DNE}^t = \frac{(M_2 - M_8 / \text{CE}_2) C_{11} - \text{TEQE}(\alpha) \cdot C_{22}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$\implies \text{ELE}(\alpha) = \text{DEL}^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} \text{CELE}(i) - \text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1} - Q$$



$$F_2^t = DNE^t - \sum_{j=1}^{b-1} NELE(j)$$

$$F_8^t = \frac{UR(1) \cdot C_1^{t-1}}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2}$$

### Vérification des conditions

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \quad \text{car } M_9 > M_8$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE(i) < TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE(j) < M_2 - \frac{M_8}{CE_2} \quad \text{pour } j = b \text{ jusque } m$$

$$\lambda_1 \geq 0 \quad \text{car } M_1 - \frac{M_8}{CE_1} > M_2 - \frac{M_8}{CE_2}$$

$$\lambda_{ELE}(i) \geq 0 \quad \text{car } TEQE(i) > TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$\lambda_{NELE}(j) \geq 0 \quad \text{car } TNEQE(j) > M_2 - \frac{M_8}{CE_2} \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } b - 1$$

### Conclusion

$$\text{Produire } F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t = \frac{(M_2 - M_8/CE_2) C_{11} - TEQE(\alpha) \cdot C_{12}}{2(C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{b-1} NELE(j)$$

$$F_8^t = \frac{UR(1) \cdot C_1^{t-1}}{CE_1} + \frac{F_2^t}{CE_2}$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

$$ELE(i) = 0$$

$$NELE(j) = 0$$

$$\text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha - 1$$

$$\text{pour } j = 1 \text{ jusque } b - 1$$

$$\text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$\text{pour } j = b \text{ jusque } m$$

$$ELE(\alpha) = \frac{TEQE(\alpha) \cdot C_{22} - (M_2 - M_8 / CE_2) \cdot C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) \\ - UR(1) \cdot C_1^{t-1} - Q$$

si  $0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-2}$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$0 < F_8^t < K_8$$

avec  $F_2^t, F_8^t, ELE(\alpha)$  donnés ci-dessus

Situations déductibles du cas 16  
.....

**CAS -17-**

Dans le cas -16-, on pose

$$F_8^t = K_8$$

$$0 < F_9^t < K_9$$

et on obtient la solution en remplaçant dans la conclusion

a par c

b par d

$M_8$  par  $M_9$

et en ajustant la contrainte en  $F_8^t$

**CAS -18-** et **CAS -19-**

Ces deux cas sont les symétriques en  $F_1^t, F_2^t$  des cas 16 et 17.

On Considère

$$F_2^t = UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

au lieu de

$$F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$



G) CAS -20-Situation envisagée

$$F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$F_8^t = K_8, F_9^t = 0$$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

$$ELE(i) = 0$$

$$NELE(j) = 0$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$ 

$$b \leq \beta < d$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$ pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$ 

$$\Rightarrow \lambda_2, \lambda_9, \lambda_{ELE(\alpha)} = 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ 

$$\lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$ Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \Rightarrow M_1 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_1 - \frac{\lambda_h}{CE_1} = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} = 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \frac{\lambda_h}{CE_2} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h + \lambda_8 = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h < 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$$6) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} = 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t = 0$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

- 7)  $\frac{\delta H}{\delta ELE(\alpha)} = 0 \Rightarrow TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t = 0$
- 8)  $\frac{\delta H}{\delta NELE(\beta)} = 0 \Rightarrow TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t = 0$
- 9)  $\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \Rightarrow -TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$   
pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$
- 10)  $\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$   
pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$
- 11)  $\lambda_1 \geq 0$   
 $\lambda_{ELE(i)} \geq 0$  pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$   
 $\lambda_{NELE(j)} \geq 0$  pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$
- 12) Contraintes du problème

Valeurs de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) + ELE(\alpha) + UR(1) \cdot C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) + (K_8 - \frac{UR(1) \cdot C_1^{t-1}}{CE_1}) CE_2 + NELE(\beta)$$

Calcul de  $ELE(\alpha)$ ,  $NELE(\beta)$

Des conditions 7 et 8, on tire

$$(*) \quad ELE(\alpha) = \frac{TEQE(\alpha) \cdot C_{22} - TNEQE(\beta) \cdot C_{12}}{2(C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - UR(1) \cdot C_1^{t-1} - Q$$

$$(**) \quad NELE(\beta) = \frac{TNEQE(\beta) \cdot C_{11} - TEQE(\alpha) \cdot C_{12}}{2(C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) - (K_8 - \frac{UR(1) \cdot C_1^{t-1}}{CE_1}) CE_2$$



Vérification des contraintes

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \quad \text{car } M_9 > M_8$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE(i) < TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = \alpha+1 \text{ jusque } n$$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE(j) < TNEQE(\beta) \quad \text{pour } j = \beta+1 \text{ jusque } m$$

$\lambda_1 > 0$  si la contrainte suivante est vérifiée

$$TEQE(\alpha) \setminus M_1 - CE_2/CE_1 (TNEQE(\beta) + M_2)$$

Conclusion

Produire  $F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$

$$F_8^t = K_8$$

$$F_9^t = 0$$

$$F_2^t = (K_8 - UR(1) \cdot C_1^{t-1} / CE_1) \cdot CE_2$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha + 1$$

$$ELE(\alpha) \text{ donné par } (*)$$

$$NELE(\beta) \text{ donné par } (**)$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

si  $0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$TEQE(\alpha) < M_1 - CE_2/CE_1 \cdot (M_2 - TNEQE(\beta))$$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

Situations déductibles du cas 20  
 .....

**CAS -21-**

Dans ce complétons la solution du cas 20 en considérant

$$F_9^t = K_9$$

La valeur de  $F_2^t$  devient

$$F_2^t = (K_8 + K_9 - UR(1) \cdot C_1^{t-1} / CE_1) \cdot CE_2$$

**CAS -22-** et **CAS -23-**

Ces deux cas sont les symétriques en  $F_1^t$  et  $F_2^t$  des deux cas précédents.

On considère  $F_2^t = UR(2) \cdot C_2^{t-1}$

$$0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

au lieu de

$$F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

note:  $F_1^t = (K_8 + K_9 - UR(2) \cdot C_2^{t-1} / CE_2) \cdot CE_1$

H) **CAS -24-**

Situation à envisager

$$F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t = UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$F_8^t > 0$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha-1$



$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$a \leq \alpha < n$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$b \leq \beta < m$

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$\Rightarrow \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{ELE(\alpha)}, \lambda_{NELE(\beta)} = 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$\lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

### Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \Rightarrow M_1 - 2 \cdot C_{11} \cdot DEL^t - 2C_{12} DNE^t - 1 - \frac{\lambda_h}{CE_1} = 0$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} = 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - 2 - \frac{\lambda_h}{CE_2} = 0$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} = 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t - \lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$$6) \frac{\delta H}{\delta ELE(\alpha)} = 0 \Rightarrow TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DEN^t = 0$$

$$7) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} = 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t - \lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

$$8) \frac{\delta H}{\delta NELE(\beta)} = 0 \Rightarrow TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t = 0$$

$$9) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

- 10)  $\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \implies TNEQE(j) - 2C_{12}^{DEL^t} - 2C_{22}^{DNE^t} < 0$   
pour  $j = \beta+1$  jusque  $m$
- 11)  $\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$   
 $\lambda_{ELE(i)} \geq 0$  pour  $i = 1$  jusque  $\alpha-1$   
 $\lambda_{NELE(j)} \geq 0$  pour  $j = 1$  jusque  $\beta-1$
- 12) contraintes du problème

Valeurs de  $DEL^t, DNE^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) + UR(1) \cdot C_1^{t-1} + ELE(\alpha) + Q \quad \alpha \in a, n$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) + UR(2) \cdot C_2^{t-1} + NELE(\beta) \quad \beta \in b, m$$

Recherche de  $ELE(\alpha), NELE(\beta), F_8^t$

Des conditions 6 et 8 et des relations ci-dessus, on tire

$$(*) \quad ELE(\alpha) = \frac{TEQE(\alpha)C_{22} - TNEQE(\beta)C_{12}}{2(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - UR(1)C_1^{t-1} - Q$$

$$(**) \quad NELE(\beta) = \frac{TNEQE(\beta)C_{11} - TEQE(\alpha)C_{12}}{2(C_{11}C_{22} - C_{12}^2)} - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) - UR(2)C_2^{t-1}$$

Vérification des contraintes

$$\frac{\delta H}{\delta F_9^t} < 0 \quad \text{car } M_9 > M_8$$

$$\frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \quad \text{car } TEQE(i) < TEQE(\alpha) \quad \text{pour } i = \alpha+1 \text{ jusque } n$$

$$\frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \quad \text{car } TNEQE(j) < TNEQE(\beta) \quad \text{pour } j = \beta+1 \text{ jusque } m$$

$$\lambda_1 \geq 0 \quad \text{car } M_1 - M_8/CE_1 > TEQE(\alpha)$$

$$\lambda_2 \geq 0 \quad \text{car } M_2 - M_9/CE_2 > TNEQE(\beta)$$



$$\begin{aligned} \lambda_{ELE(i)} &\geq 0 && \text{car } TEQE(i) > TEQE(\alpha) \text{ pour } i = 1 \text{ jusqu'à } \alpha - 1 \\ \lambda_{NELE(j)} &\geq 0 && \text{car } TNEQE(j) > TNEQE(\beta) \text{ pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1 \end{aligned}$$

CONCLUSION

$$\text{Produire } F_1^t = UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_2^t = UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$F_8^t = F_1^t / CE_1 + F_2^t / CE_2$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } \alpha - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta - 1$$

$$ELE(\alpha) = (*)$$

$$NELE(\beta) = (**)$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'à } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'à } m$$

$$\begin{aligned} \text{si} \quad & 0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha) \\ & 0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta) \\ & 0 < F_8^t < K_8 \end{aligned}$$

avec  $ELE(\alpha), NELE(\beta), F_8^t$  donnés ci-dessus

Situation déductible du cas 24  
.....

**CAS -25-**

Dans le cas 24 on pose  $F_8^t = K_8$  et  $0 < F_9^t < K_9$

La solution est obtenue en remplaçant dans la conclusion

c par a

d par b

la contrainte en  $F_8^t$  par la contrainte en  $F_9^t$

I) CAS -26-Situation envisagée

$$0 < F_1^t < UR(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$F_8^t = K_8$$

$$F_9^t = K_9$$

$$0 < F_2^t < UR(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$ 

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$ 

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

 $d \leq \beta \leq m$ 

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ 

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$ 

$$\Rightarrow \lambda_1, \lambda_2, \lambda_{NELE(\beta)} = 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ 

$$\lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$ Conditions à vérifier

$$1) \frac{\delta H}{\delta F_1^t} = 0 \Rightarrow M_1 - 2C_{11}^{DEL^t} - 2C_{12}^{DNE^t} - \frac{\lambda_h}{CE_1}$$

$$2) \frac{\delta H}{\delta F_2^t} = 0 \Rightarrow M_2 - 2C_{12}^{DEL^t} - 2C_{22}^{DNE^t} - \frac{\lambda_h}{CE_2}$$

$$3) \frac{\delta H}{\delta F_8^t} = 0 \Rightarrow -M_8 + \lambda_h + \lambda_8 = 0$$

$$4) \frac{\delta H}{\delta F_9^t} = 0 \Rightarrow -M_9 + \lambda_h + \lambda_9 = 0$$

$$5) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} = 0 \Rightarrow TEQE(i) - 2C_{11}^{DEL^t} - 2C_{12}^{DNE^t} - \lambda_{ELE(i)} = 0$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$

$$6) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} = 0 \Rightarrow TNEQE(j) - 2C_{12}^{DEL^t} - 2C_{22}^{DNE^t} - \lambda_{NELE(j)} = 0$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

$$7) \frac{\delta H}{\delta NELE(\beta)} = 0 \Rightarrow TNEQE(\beta) - 2C_{12}^{DEL^t} - 2C_{22}^{DNE^t} - \lambda_{NELE(\beta)} = 0$$



$$8) \frac{\delta H}{\delta ELE(i)} < 0 \implies TEQE(i) - 2C_{11}^{DEL^t} - 2C_{12}^{DNE^t} < 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$9) \frac{\delta H}{\delta NELE(j)} < 0 \implies TNEQE(j) - 2C_{12}^{DEL^t} - 2C_{22}^{DNE^t} < 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$10) \lambda_8, \lambda_9 \geq 0$$

$$\lambda_{ELE(i)} \geq 0 \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha$$

$$\lambda_{NELE(j)} \geq 0 \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

11) contraintes du problème

Valeurs de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + F_1^t + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) + F_2^t + NELE(\beta)$$

Recherche de  $NELE(\beta)$ ,  $F_1^t$ ,  $F_2^t$

Des conditions 2 et 7 on tire

$$\lambda_h = (M_2 - TNEQE(\beta)) \cdot CE_2$$

Des conditions 1 et 7 on tire

$$DEL^t = \frac{\{M_1 - (M_2 - TNEQE(\beta))CE_2/CE_1\} \cdot C_{22} - TNEQE(\beta) \cdot C_{12}}{2 \cdot (C_{11}C_{22} - C_{12}^2)}$$

$$DNE^t = \frac{\{M_1 - (M_2 - TNEQE(\beta))CE_2/CE_1\} \cdot C_{12} - TNEQE(\beta) \cdot C_{11}}{2 \cdot (C_{11}C_{22} - C_{12}^2)}$$

On peut donc écrire:

$$F_1^t = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) - Q \quad (1)$$

$$F_2^t = K_8 + K_9 - F_1^t/CE_1 \quad (2)$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) - F_2^t \quad (3)$$

Vérification des contraintes

$$\lambda_9 \geq 0 \quad \text{car } \text{TNEQE}(\beta) < M_2 - M_9/CE_2$$

$$\lambda_8 \geq 0 \quad \text{car } M_8 < M_9$$

$$\lambda_{\text{NELE}(j)} \geq 0 \quad \text{car } \text{TNEQE}(\beta) < \text{TNEQE}(j) \text{ pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta-1$$

$$\lambda_{\text{ELE}(i)} \geq 0 \quad \text{SI } \text{TEQE}(i) > M_1 - (M_2 - \text{TNEQE}(\beta)) \cdot CE_2/CE_1$$

$$\Rightarrow \text{Poser } = \text{ordre}(M_1 - (M_2 - \text{TNEQE}(\beta))CE_2/CE_1) - 1$$

$$\frac{\delta H}{\delta \text{NELE}(j)} < 0 \quad \text{car } \text{TNEQE}(\beta) > \text{TNEQE}(j) \text{ pour } j = \beta+1 \text{ jusqu'à } m$$

Conclusion

$$\text{Produire } F_8^t = K_8$$

$$F_9^t = K_9$$

$$F_1^t, F_2^t, \text{NELE}(\beta) \text{ donnés par (1), (2) et (3)}$$

$$\text{ELE}(i) = \text{CELE}(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'à } \alpha$$

$$\text{NELE}(j) = \text{CNELE}(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'à } \beta-1$$

$$\text{ELE}(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha+1 \text{ jusqu'à } n$$

$$\text{NELE}(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta+1 \text{ jusqu'à } m$$

$$\text{si } 0 < F_1^t < \text{UR}(1) \cdot C_1^{t-1}$$

$$0 < F_2^t < \text{UR}(2) \cdot C_2^{t-1}$$

$$0 < \text{NELE}(\beta) < \text{CNELE}(\beta)$$

avec  $F_1^t, F_2^t, \text{NELE}(\beta)$  donnés en (1), (2) et (3)

Situations déductibles du cas 26  
.....

CAS -27-

Ce cas est le symétrique du cas 26 par rapport à  $\text{NELE}(\beta)$ .



Ici, on a  $0 < \text{ELE}(\alpha) < \text{CELE}(\alpha)$   
au lieu de  $0 < \text{NELE}(\beta) < \text{CNELE}(\beta)$

CAS -28- et CAS -29-

Poser  $K_9 = 0$  dans les cas -26- et -27-

### CONCLUSION

Nous avons, dans ce mémoire considéré une nouvelle approche de résolution des modèles multi-périodes.

Comme nous l'avons dit, la résolution classique d'un modèle multi-périodes, dont le nombre de variables et de contraintes peut être très grand, est très difficile voire impossible car elle nécessite une description extensive du problème en chaque noeud de l'arbre de décision et donc la résolution d'autant de sous-problèmes.

La propriété de "blocs séparables" que possèdent de nombreux programmes stochastiques multi-périodes et qui consiste à traiter indépendamment les opérations à court terme et les opérations à long terme, nous permet de simplifier considérablement le problème. Nous nous sommes attachés à la résolution du sous-problème relatif aux opérations courantes dans le cadre d'un modèle énergétique général. Une résolution de ce sous-problème obtenue sous forme paramétrique nous permettrait par la suite de traiter les opérations à long terme plus facilement.

Nous avons à maximiser une fonction quadratique soumise à un ensemble de contraintes linéaires.

Cependant, le nombre de situations (qui peuvent être des solutions optimales) à envisager peut être considérable si le nombre de variables et de contraintes est élevé ( $2^{n+m}$  si  $n$  variables et  $m$  contraintes). Nous avons essayé de cerner l'ensemble des cas optimaux et de nous limiter à ces cas dans la recherche d'une solution paramétrique. Pour cela, il nous a fallu décomposer le problème, utiliser des priorités et poser certaines hypothèses.

On a donc dû adopter une certaine heuristique.

Il est clair que la solution obtenue est une solution approchée de la solution réelle du sous-problème.

Nous pourrions, suite à ce travail, vérifier que l'écart entre ces deux solutions n'est pas trop grand et donc que l'approximation



est bonne. On pourrait alors s'attacher aux effets des opérations à long terme (investissements) sur la solution obtenue

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) F.V.LOUVEAUX, A-M.PONCELET, X.de GROOTE, Y.SMEERS. "A stochastic energy R & D budget allocation model"
- (2) F.V.LOUVEAUX, Y.SMEERS. "Stochastic optimization for the introduction of a new energy technology" . Cahiers de la Faculté des Sciences économiques et sociales de Namur 1981
- (3) F.LOUVEAUX. "Multistage stochastic programs with block-separable recourse" à paraître dans 'Mathematical programming study on stochastic programming , Prekopa and Wets eds 1984
- (4) M.OSTERRIETH, STEF PROOST. "Analyse du système énergétique belge" Services de programmation de la politique scientifique, rue de la Science 8, 1040 Bruxelles 1983
- (5) A.DAFFE, J-F.GUILMOT. "L'offre d'énergie: 7. Contribution des nouvelles technologies au système énergétique belge" . Services de programmation de la politique scientifique, rue de la Science 8, 1040 Bruxelles 1983
- (6) E.HÖPFINGER. "Long Term European Investment in Energy R & D" 1983
- (7) W.W.CLAYCOMBE, W.G.SULLIVAN. "Foundations of mathematical programming" . Reston 1943
- (8) VAN DE PANEN. "Methods for linear and quadratic programming" édition Henri THEIL 1975



ANNEXES

# ANNEXE 1

## COMPLEMENTS A LA RESOLUTION DU

### SOUS-PROBLEME NON NUCLEAIRE

Nous reprenons ci-dessous les situations exposant les solutions optimales et les régions de confiance du sous-problème relatif aux équipements non nucléaires.

Dans le chapitre 6, nous avons envisagé pour chaque cas une utilisation partielle du dernier équipement électrique et du dernier équipement non électrique à savoir.

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

Cependant, l'utilisation de ces derniers équipements peut être différente et conduire à de nouvelles régions de confiance.

On pourrait ainsi se trouver dans l'une des trois situations.

$$a) \quad ELE(\alpha) = CELE(\alpha) \quad , \quad NELE(\beta) = CNELE(\beta)$$

$$b) \quad 0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$ELE(\alpha) = CELE(\alpha)$$

$$c) \quad 0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$NELE(\beta) = CNELE(\beta)$$

Nous considérons ci-après pour chaque cas du chapitre 6 ces trois situations manquantes. Les démonstrations sont évidemment du même type; nous nous limiterons donc aux conclusions.



CAS -1-

a) Produire  $F_1^t = F_2^t = F_8^t = F_9^t = 0$ 

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ 

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$ 

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$ 

$$0 < \alpha < a$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta$ 

$$0 < \beta < b$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} ELE(i) + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} NELE(j)$$

$$\text{si } MAX(M_1 - M_8 / CE_1, TEQE(\alpha + 1)) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$MAX(M_2 - M_8 / CE_2, TNEQE(\beta + 1)) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

b) Produire  $F_1^t = 0, F_2^t = 0, F_8^t = 0, F_9^t = 0$ 

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$ 

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$ 

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$ 

$$0 < \alpha < a$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$ 

$$0 < \beta < b$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + Q$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j)$$

si  $MAX (M_7 - M_8 / CE_1, TEQE(\alpha+1)) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$   
 $TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$   
 $0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$

c) Produire  $F_1^t = 0, F_2^t = 0, F_8^t = 0, F_9^t = 0$

$$\begin{aligned} ELE(i) &= 0 && \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu'e } n \\ NELE(j) &= 0 && \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'e } m \\ ELE(i) &= CELE(i) && \text{pour } i = 1 \text{ jusqu'e } \alpha - 1 \\ &&& 0 < \alpha < a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 &< ELE(\alpha) < CELE(\alpha) \\ NELE(j) &= CNELE(j) && \text{pour } j = 1 \text{ jusqu'e } \beta \\ &&& 0 < \beta < b \end{aligned}$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) - 2C_{12} DNE^t}{2C_{11}}$$

$$ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - Q$$

si  $MAX (M_2 - M_8 / CE_2, TNEQE(\beta+1)) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$   
 $TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$   
 $0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$

CAS -2-

a) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^t, F_2^t = 0, F_8^t = UR(1) C_1^t / CE_1, F_9^t = 0$

$$\begin{aligned} ELE(i) &= 0 && \text{pour } i = a \text{ jusqu'e } n \\ NELE(j) &= 0 && \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu'e } m \\ &&& b \leq \beta \leq m \end{aligned}$$



$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu' } a - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu' } \beta$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) + UR(1) C_1^t / CE_1 + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

si

$$TEQE(a) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$MAX(M_2 - M_8 / CE_2, TNEQE(\beta + 1)) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$M_1 - M_8 / CE_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$UR(1) C_1^t / CE_1 < K_8$$

b) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_2^t = 0$ ,  $F_8^t = UR(1) C_1^{t-1} / CE_1$ ,  $F_9^t = 0$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = a \text{ jusqu' } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu' } m$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu' } a - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu' } \beta - 1$$

$$b \leq \beta \leq m$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j)$$

si

$$M_1 - M_8 / CE_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(a) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$UR(1) C_1^{t-1} / CE_1 < K_8$$

c) Produire  $F_2^t = 0, F_9^t = 0$

$$\begin{aligned} \text{ELE}(i) &= 0 && \text{pour } i = a \text{ jusque } n \\ \text{NELE}(j) &= 0 && \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m \\ \text{ELE}(i) &= \text{CELE}(i) && \text{pour } i = 1 \text{ jusque } a - 1 \\ \text{NELE}(j) &= \text{CNELE}(j) && \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta \end{aligned}$$

$$\text{DNE}^t = \sum_{j=1}^{\beta} \text{CNELE}(j)$$

$$\text{DEL}^t = \frac{M_1 - M_8/\text{CE}_1 - 2C_{12} \text{DNE}^t}{2C_{11}}$$

$$F_1^t = \text{DEL}^t - \sum_{i=1}^a \text{CELE}(i) - Q$$

$$F_8^t = F_1^t / \text{CE}_1$$

si  $\text{MAX} (M_2 - M_8/\text{CE}_2, \text{TNEQE}(\alpha+1) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t) < 0$

$$\text{TNEQE}(\beta) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t > 0$$

$$0 < F_1^t < \text{UR}(1) C_1^t$$

$$0 < F_1^t/\text{CE}_1 < K_8$$

CAS -6-

a) Produire  $F_1^t = K_8 \cdot \text{CE}_1, F_2^t = 0, F_8^t = K_8, F_9^t = 0$

$$\begin{aligned} \text{ELE}(i) &= 0 && \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n \\ &&& a \leq \alpha < c \\ \text{NELE}(j) &= 0 && \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m \\ &&& 0 < \beta < d \\ \text{ELE}(i) &= \text{CELE}(i) && \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha \\ \text{NELE}(j) &= \text{CNELE}(j) && \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta \end{aligned}$$

$$\text{DEL}^t = \sum_{i=1}^{\alpha} \text{CELE}(i) + K_8 \cdot \text{CE}_1 + Q$$

$$\text{DNE}^t = \sum_{j=1}^{\beta} \text{CNELE}(j)$$



$$\begin{aligned}
& \text{si} \quad 0 < K_8 \cdot CE_1 < UR(1) C_1^{t-1} \\
& TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0 \\
& TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0 \\
& TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0 \\
& TNEQE(\beta+1) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0 \\
& CE_2 (M_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t) < \\
& \quad CE_1 (M_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{b) Produire } F_1^t = K_8 \cdot CE_1, F_2^t = 0, F_8^t = K_8, F_9^t = 0 \\
& ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha \\
& \quad \quad \quad a \leq \alpha < c \\
& NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1 \\
& \quad \quad \quad 0 < \beta < d \\
& ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n \\
& NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m \\
& DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^t + Q \\
& DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}} \\
& NELE(\ ) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{si} \quad 0 < K_8 CE_1 < UR(1) C_1^{t-1} \\
& TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0 \\
& TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0 \\
& CE_2 (M_2 - TNEQE(\beta)) < CE_1 (M_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t) \\
& 0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)
\end{aligned}$$

c) Produire  $F_1^t = K_8 \cdot CE_1$ ,  $F_2^t = 0$ ,  $F_8^t = K_8$ ,  $F_9^t = 0$

$ELE(i) = CELE(i)$  pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$a \leq \alpha < c$

$NELE(j) = CNELE(j)$  pour  $j = 1$  jusque  $\beta$

$0 < \beta < d$

$ELE(i) = 0$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$NELE(j) = 0$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) - 2C_{12} DNE^t}{2C_{11}}$$

$$ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - K_8 \cdot CE_1 - Q$$

si  $0 < K_8 \cdot CE_1 < UR(1) C_1^{t-1}$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\beta+1) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$CE_2 (M_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t) < CE_1 (M_1 - TEQE(\alpha))$$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

CAS -10-

a) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^t$ ,  $F_2^t = UR(2) C_2^t$

$$F_8^t = UR(1) C_1^t / CE_1 + UR(2) C_2^t / CE_2, F_9^t = 0$$

$ELE(i) = CELE(i)$  pour  $i = 1$  jusque  $a - 1$

$NELE(j) = CNELE(j)$  pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$

$ELE(i) = 0$  pour  $i = a$  jusque  $n$

$NELE(j) = 0$  pour  $j = b$  jusque  $m$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$



$$DNE^t = \sum_{j=1}^{b-1} CNELE(j) + UR(2) C_2^{t-1}$$

si

$$M_1 - M_8 / CE_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$M_2 - M_8 / CE_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TEQE(a) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$TNEQE(b) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$UR(1) C_1^t (CE_1 + UR(2) C_2^t / CE_2) < K_8$$

b) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^t$ ,  $F_9^t = 0$

$ELE(i) = CELE(i)$	pour $i = 1$ jusque $a - 1$
$NELE(j) = CNELE(j)$	pour $j = 1$ jusque $b - 1$
$ELE(i) = 0$	pour $i = a$ jusque $n$
$NELE(j) = 0$	pour $j = b$ jusque $m$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \frac{M_2 - M_8 / CE_2 - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$F_2^t = DNE^t - \sum_{j=1}^{b-1} CNELE(j)$$

$$F_8^t = UR(1) C_1^t / CE_1 + F_2^t / CE_2$$

si

$$M_1 - M_8 / CE_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(a) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$0 < F_2^t < UR(2) C_2^t$$

$$0 < F_8^t < K_8$$

c) Produire  $F_2^t = UR(2) C_2^t$ ,  $F_9^t = 0$

$ELE(i) = CELE(i)$  pour  $i = 1$  jusque  $a - 1$

$NELE(j) = CNELE(j)$  pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$

$ELE(i) = 0$  pour  $i = a$  jusque  $n$

$NELE(j) = 0$  pour  $j = b$  jusque  $m$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{b-1} CNELE(j) + UR(2) C_2^{t-1}$$

$$DEL^t = \frac{M_1 - M_8 / CE_1 - 2C_{12} DNE^t}{2C_{11}}$$

$$F_1^t = DEL^t - \sum_{i=1}^{a-1} CELE(i) - Q$$

$$F_8^t = UR(2) C_2^t / CE_2 + F_1^t / CE_1$$

si  $M_2 - M_8 / CE_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$

$$TNEQE(b) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$0 < F_1^t < UR(1) C_1^t$$

$$0 < F_8^t < K_8$$

CAS -12-

a) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_2^t = 0$

$$F_8^t = UR(1) C_1^{t-1} / CE_1, F_9^t = 0$$

$NELE(j) = CNELE(j)$  pour  $j = 1$  jusque  $\beta$

$$0 < \beta < b$$

$ELE(i) = CELE(i)$  pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$NELE(j) = 0$  pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$ELE(i) = 0$  pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$



$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

si  $0 < UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 < K_8$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$MAX(TNEQE(\beta+1), M_2 - M_8/CE_2) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

b) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_2^t = 0$

$$F_8^t = UR(1) C_1^{t-1}/CE_1, F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

$$0 < \beta < b$$

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j)$$

si  $0 < UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 < K_8$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

c) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_2^t = 0$

$$F_8^t = UR(1) C_1^{t-1} / CE_1, F_9^t = 0$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta$

$$0 < \beta < b$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j)$$

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) - 2C_{12} DNE^t}{2C_{11}}$$

$$ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - UR(1) C_1^{t-1} - Q$$

si

$$0 < UR(1) C_1^{t-1} / CE_1 < K_8$$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$MAX (TEQE(\alpha+1), M_2 - M_8 / CE_2) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

CAS -16-

a) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_2^t = UR(2) C_2^{t-1}$

$$F_8^t = F_1^t / CE_1 + F_2^t / CE_2, F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $b - 1$

$$ELE(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$NELE(j) = 0$$

pour  $j = b$  jusque  $m$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$



$$DNE^t = \sum_{j=1}^{b-1} CNELE(j) + UR(2) C_2^{t-1}$$

si

$$UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2 < K_8$$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$M_2 - M_8/CE_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(b) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

b) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_9^t = 0$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } b-1$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = b \text{ jusque } m$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \frac{M_2 - M_2/CE_2 - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$F_2^t = DNE^t - \sum_{j=1}^{b-1} CNELE(j)$$

$$F_8^t = F_1^t/CE_1 + UR(1) C_1^{t-1}/CE_2$$

si

$$0 < F_2^t < UR(2) C_2^{t-1}$$

$$0 < F_8^t < K_8$$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

c) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$ ,  $F_9^t = 0$

$$F_2^t = UR(2) C_2^{t-1}, F_8^t = UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-2}/CE_2$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqué } b - 1$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqué } \alpha - 1$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$DNE^t = \sum_{i=1}^b 1 CNELE(j) + UR(2) C_2^{t-1}$$

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) - 2C_{12} DNE^t}{2C_{11}}$$

$$ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} CELE(i) - UR(1) C_1^{t-1} - Q$$

si  $UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-2}/CE_2 < K_8$ .

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

$$M_2 - M_8/CE_2 - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(b) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

CAS -20-

a) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$

$$F_2^t = (K_8 - UR(1) C_1^{t-1}/CE_1) CE_2$$

$$F_8^t = K_8, F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqué } \alpha$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqué } \beta$$

$$b \leq \beta \leq d$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = n \text{ jusqué } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqué } m$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j) + F_2^t$$



$$\begin{aligned}
\text{si} \quad & \text{TEQE}(\alpha+1) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t < 0 \\
& \text{TEQE}(\alpha) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t > 0 \\
& \text{TNEQE}(\beta) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t > 0 \\
& \text{TNEQE}(\beta+1) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t < 0 \\
& 0 < F_2^t < \text{UR}(2) C_2^{t-1} \\
& \text{CE}_2 (M_2 - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t) \\
& \quad < (M_1 - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t) \text{CE}_1
\end{aligned}$$

$$\text{b) Produire } F_1^t = \text{UR}(1) C_1^{t-1}$$

$$F_2^t = (K_8 - \text{UR}(1) C_1^{t-1} / \text{CE}_1) \text{CE}_2$$

$$F_8^t = K_8, F_9^t = 0$$

$$\text{ELE}(i) = \text{CELE}(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$\text{NELE}(j) = \text{CNELE}(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta - 1$

$$b \leq \beta \leq d$$

$$\text{NELE}(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$\text{ELE}(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$\text{DEL}^t = \sum_{i=1}^{\alpha} \text{CELE}(i) + \text{UR}(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$\text{DNE}^t = \frac{\text{TNEQE}(\beta) - 2C_{12} \text{DEL}^t}{2C_{22}}$$

$$\text{NELE}(\beta) = \text{DNE}^t - \sum_{j=1}^{\beta} \text{CNELE}(j) - F_2^t$$

$$\text{si} \quad 0 < F_2^t < \text{UR}(2) C_2^{t-1}$$

$$\text{TEQE}(\alpha) - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t > 0$$

$$0 < \text{NELE}(\beta) < \text{CNELE}(\beta)$$

$$\text{CE}_2 (M_2 - \text{TNEQE}(\beta)) < (M_1 - 2C_{11} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t) \text{CE}_1$$

c) Produire  $F_1^t = \text{UR}(1) C_1^{t-1}$

$$F_2^t = (K_8 - \text{UR}(1) C_1^{t-1} / \text{CE}_1) \text{CE}_2$$

$$F_8^t = K_8, F_9^t = 0$$

$$\text{NELE}(j) = \text{CNELE}(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta$

$$b \leq \beta \leq a$$

$$\text{ELE}(i) = \text{CELE}(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$\text{NELE}(j) = 0$$

pour  $j = \beta + 1$  jusque  $m$

$$\text{ELE}(i) = 0$$

pour  $i = \alpha + 1$  jusque  $n$

$$\text{DNE}^t = \sum_{i=1}^{\beta} \text{CELE}(i) + F_2^t$$

$$\text{DEL}^t = \frac{\text{TEQE}(\alpha) - 2C_{12} \text{DNE}^t}{2C_{11}}$$

$$\text{ELE}(\alpha) = \text{DEL}^t - \sum_{i=1}^{\alpha-1} \text{CELE}(i) - \text{UR}(1) C_1^{t-1} - Q$$

si

$$0 < F_2^t < \text{UR}(2) C_2^{t-1}$$

$$\text{TNEQE}(\beta) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t > 0$$

$$\text{TNEQE}(\beta+1) - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{22} \text{DNE}^t < 0$$

$$0 < \text{ELE}(\alpha) < \text{CELE}(\alpha)$$

$$\text{CE}_2 (M_2 - 2C_{12} \text{DEL}^t - 2C_{12} \text{DNE}^t) < M_1 - \text{TEQE}(\beta)$$

CAS -24-

a) Produire  $F_1^t = \text{UR}(1) C_1^{t-1}$

$$F_2^t = \text{UR}(2) C_2^{t-1}$$



$$F_8^t = UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu\'e } \alpha$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu\'e } \beta$$

$$b \leq \beta \leq m$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu\'e } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu\'e } m$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j) + UR(2) C_2^{t-1}$$

si  $0 < UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2 < K_8$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\beta+1) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

b) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$

$$F_2^t = UR(2) C_2^{t-1}$$

$$F_8^t = UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusqu\'e } \alpha$$

$$a \leq \alpha \leq n$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusqu\'e } \beta - 1$$

$$b \leq \beta \leq m$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusqu\'e } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusqu\'e } m$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j) - UR(2) C_2^{t-1}$$

si  $0 < UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2 < K_8$

$$TEQE(\alpha) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

c) Produire  $F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$

$$F_2^t = UR(2) C_2^{t-1}$$

$$F_8^t = UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2$$

$$F_9^t = 0$$

$$ELE(i) = CELE(i)$$

pour  $i = 1$  jusque  $\alpha - 1$

$a \leq \alpha \leq n$

$$NELE(j) = CNELE(j)$$

pour  $j = 1$  jusque  $\beta$

$b \leq \beta \leq m$

$$DNE^t = \sum_{j=1}^{\beta} CNELE(j) - UR(2) C_2^{t-1}$$

$$DEL^t = \frac{TEQE(\alpha) - 2C_{12} DNE^t}{2C_{11}}$$

$$ELE(\alpha) = DEL^t - \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) - UR(1) C_1^{t-1} - Q$$



si

$$0 < UR(1) C_1^{t-1}/CE_1 + UR(2) C_2^{t-1}/CE_2 < K_8$$

$$TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t > 0$$

$$TNEQE(\beta+1) - 2C_{12} DEL^t - 2C_{22} DNE^t < 0$$

$$0 < ELE(\alpha) < CELE(\alpha)$$

CAS -26-

Produire

$$F_1^t = UR(1) C_1^{t-1}$$

$$F_8^t = K_8$$

$$F_9^t = K_9$$

$$F_2^t = (K_8 + K_9 - UR(1) C_1^{t-1}/CE_1) CE_2$$

$$ELE(i) = CELE(i) \quad \text{pour } i = 1 \text{ jusque } \alpha$$

$$\alpha = \text{Ordre } (M_1 - M_2 - TNEQE(\beta)) CE_2/CE_1 - 1$$

$$NELE(j) = CNELE(j) \quad \text{pour } j = 1 \text{ jusque } \beta - 1$$

$$d \leq \beta \leq m$$

$$ELE(i) = 0 \quad \text{pour } i = \alpha + 1 \text{ jusque } n$$

$$NELE(j) = 0 \quad \text{pour } j = \beta + 1 \text{ jusque } m$$

$$DEL^t = \sum_{i=1}^{\alpha} CELE(i) + UR(1) C_1^{t-1} + Q$$

$$DNE^t = \frac{TNEQE(\beta) - 2C_{12} DEL^t}{2C_{22}}$$

$$NELE(\beta) = DNE^t - \sum_{j=1}^{\beta-1} CNELE(j) - F_2^t$$

si

$$0 < (K_8 + K_9 - UR(1) C_1^{t-1}/CE_1) CE_2 < UR(2) C_2^{t-1}$$

$$0 < NELE(\beta) < CNELE(\beta)$$

$$M_1 - (M_2 - TNEQE(\beta)) CE_2/CE_1 - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t > 0$$

$$TEQE(\alpha+1) - 2C_{11} DEL^t - 2C_{12} DNE^t < 0$$

ANNEXE 2PROGRAMMATION

Cette annexe contient la programmation de la résolution des deux sous-problèmes.

Nous ne joindrons pas à ce mémoire le texte du programme relatif aux équipements non nucléaires car il est trop long. Cependant, nous en donnerons un organigramme ainsi qu'une description des routines utilisées.

Le texte du programme relatif aux équipements nucléaires est plus court et sa structure est simple; il fait partie de cette annexe.

Nous terminons cette partie par la présentation de quelques résultats obtenus à partir de l'exécution des programmes.



A) ROUTINES DU PROGRAMME (équipements non nucléaires)

On a vu au chapitre 6 que la résolution du problème non nucléaire engendrait 28 cas distincts. Chaque cas est décomposé en 4 sous-cas.

Voici les routines ce rapportant à chaque sous-cas

SOUS-CAS 1 (utilisation maximale du dernier équipement électrique et non électrique)

## a) Routine CADEDN (FI, I, RTAB, DI, ETAT)

Cette routine calcule la valeur de  $DEL^t$  ou  $DNE^t$

Entrée

FI : valeur de  $F_1^t$  ou  $F_2^t$

I : nombre d'équipements au maximum de leur capacité

RTAB : tableau contenant les valeurs des capacités

ETAT : indique s'il s'agit de calculer  $DEL^t$  ou  $DNE^t$

Sortie

DI : valeur de  $DEL^t$  ou  $DNE^t$

$$DI = \sum_{j=1}^I RTAB(j) + FI \quad \text{Calcul de } DNE^t$$

$$DI = \sum_{j=1}^I RTAB(j) + FI + Q \quad \text{Calcul de } DEL^t$$

## b) Routine VERSOL (I, J, D1, D2, RTABE, RTABN, BOOL)

Cette routine vérifie les contraintes suivantes :

$$RTABE(I) - 2C_{11} D1 - 2C_{12} D2 > 0$$

$$RTABE(I+1) - 2C_{11} D1 - 2C_{12} D2 < 0$$

$$RTABN(J) - 2C_{12} D1 - 2C_{22} D2 > 0$$

$$RTABN(J+1) - 2C_{12} D1 - 2C_{22} D2 < 0$$

Entrée

I, J : indice

RTAB, RTABN : tableaux contenant les valeurs des termes constants (électriques et non électriques) obtenus dans les dérivées de Kuhn et Tucker

D1 : valeur de  $DEL^t$

D2 : valeur de  $DNE^t$

Sortie

BOOL : cette variable est mise à 0 si au moins une des contraintes n'est pas vérifiée

c) Routine SOLPA<sup>2</sup>

Cette routine donne une solution paramétrique du sous-cas.

SOUS-CAS 2 (utilisation partielle du dernier équipement non électrique)

## a) Routine CALDN (J, F2, D1, D2, RTAB, NOELE, RCAP)

Cette routine calcule la valeur de  $DNE^t$  et de la variable NOELE (NELE(j) ou  $F_2^t$ )

Entrée

J : J - 1 = nombre d'équipements non électriques utilisés au maximum de leur capacité

F2 : valeur de  $F_2^t$

D1 : valeur de  $DEL^t$

RTAB : tableau contenant les valeurs des termes constants non électriques obtenus dans les dérivées de Kuhn et Tucker

RCAP : tableau contenant les valeurs des capacités des équipements non électriques

Sortie

D2 : valeur de  $DNE^t$

$$D2 = \frac{RTAB(J) - 2.C_{12}.D1}{2C_{11}}$$



NOELE : valeur de la variable NELE(J) ou  $F_2^t$

$$\text{NOELE} = D2 - \sum_{i=1}^{J-1} \text{RCAP}(i) - F_2$$

b) Routine VERSO1 (I, D1, D2, RTABE, RCAP, NOELE, BOOL)

Cette routine vérifie les contraintes suivantes :

$$0 < \text{NOELE} < \text{RCAP}$$

$$\text{RTABE}(I) - 2C_{11} D1 - 2C_{12} D2 > 0$$

$$\text{RTABE}(I+1) - 2C_{11} D1 - 2C_{12} D2 < 0$$

c) Routine SOLPA3

Cette routine donne une solution paramétrique du sous-cas

SOUS-CAS 3 (utilisation partielle du dernier équipement électrique)

a) Routine CALDE (J, F1, D1, D2, RTAB, ELE, RCAP)

Cette routine calcule la valeur de  $\text{DEL}^t$  et la valeur de la variable ELE (ELE(j) ou  $F_1^t$ )

#### Entrée

J : J - 1 = nombre d'équipements électriques utilisés au maximum de leur capacité

F1 : valeur de  $F_1^t$

D2 : valeur de  $\text{DNE}^t$

RTAB : tableau contenant les valeurs des termes constants électriques obtenus dans les dérivées de Kuhn et Tucker

RCAP : tableau contenant la valeur des capacités des équipements électriques

#### Sortie

D1 : valeur de  $\text{DEL}^t$

$$D1 = \frac{\text{RTAB}(J) - 2C_{12} D2}{2C_{22}}$$

ELE : valeur de la variable ELE(J) ou  $F_1^t$

$$ELE = D1 - \sum_{i=1}^{J-1} RCAP(i) - F_1 - Q$$

b) Routine VERSO2 (I, D1, D2, RTABN, RCAP, ELE, BOOL)

Cette routine vérifie les contraintes suivantes :

$$0 < ELE < RCAP$$

$$RTABN(I) - 2C_{12} D1 - 2C_{22} D2 > 0$$

$$RTABN(I+1) - 2C_{12} D1 - 2C_{22} D2 < 0$$

c) Routine SOLPA3

Cette routine donne une solution paramétrique de ce sous-cas.

SOUS-CAS 4 (utilisation partielle du dernier équipement électrique et non électrique)

a) Routine DELDNE (AE, BE, D1, D2)

Cette routine donne la valeur de  $DEL^t$  et  $DNE^t$

#### Entrée

AE : valeur du terme constant électrique obtenu dans les dérivées de Kuhn et Tucker

BE : valeur du terme constant non électrique obtenu dans les dérivées de Kuhn et Tucker

#### Sortie

D1 : valeur de  $DEL^t$

$$D1 = \frac{AE \cdot C_{22} - C_{12} BE}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$

D2 : valeur de  $DNE^t$

$$D2 = \frac{BE \cdot C_{11} - AE C_{12}}{2 (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12}^2)}$$



## b) Routine CALEL (INDE, TOTE, EL, REL, ETAT)

Cette routine calcule la valeur de la variable électrique ou non électrique EL.

Entrée

TOTE : indique la valeur totale de  $DEL^t$  ou  $DNE^t$   
 REL : tableau contenant les valeurs des capacités des équipements électriques ou non électriques  
 INDE : indique le nombre d'équipements électriques ou non électriques au maximum de leur capacité  
 ETAT : indique s'il s'agit d'équipements électriques ou non électriques

Sortie

EL : valeur de la variable électrique  $ELE(INDE)$  ou  $F_1^t$

$$EL = \sum_{i=1}^{INDE-1} REL(i) - Q + TOTE$$

ou valeur de la variable non électrique  $NELE(INDE)$  ou  $F_2^t$

$$EL = TOTE - \sum_{j=1}^{INDE-1} REL(j)$$

## c) Routine SOLPA4

Cette routine donne une solution paramétrique de ce sous-cas.

La routine suivante est commune à tous les sous-cas.

## Routine SOLUTI

Cette routine renvoie la solution numérique du problème.

Il nous reste à expliciter les routines concernant le classement par priorités des équipements électriques et non électriques.

## a) Routine CLASSE (J, CLA)

Cette routine classe les j éléments du tableau CLA par ordre décroissant.

## b) Routine ORDRE (J, DIM, K, CLA)

Cette routine donne l'ordre J du réel K dans le tableau ordonné CLA de dimension DIM.

Elle est utilisée pour trouver l'ordre de priorités des équipements HCPWS et HCLIQ.

B) ORGANIGRAMME DU PROGRAMME

Soit la variable BOOL : est mise à vrai si on a trouvé une solution.

L'organigramme du programme est le suivant :

- Saisie des données (RTEQE, RTEQN, RCELE, RCNELE)
- Classe (N, RTEQE) (\*classement des équipements électriques\*)
- Classe (K, RTEQN) (\*classement des équipements non électriques\*)
- Ordre (A, N,  $M_1 - M_8/CE_1$ ) (\*ordre de HCLIQ s'il fonctionne au charbon extrait\*)
- Ordre (C, N,  $M_1 - M_9/CE_1$ ) (\*ordre de HCLIQ s'il fonctionne au charbon importé\*)
- Ordre (B, K,  $M_2 - M_8/CE_2$ ) (\*ordre de HCPWS s'il fonctionne au charbon extrait\*)
- Ordre (D, K,  $M_2 - M_8/CE_2$ ) (\*ordre de HCPWS s'il fonctionne au charbon importé\*)

TANT QUE BOOL = FAUX (\*pas trouver de solution\*)

FAIRE (\*traitement sous-cas 4\*)

DELDNE (\*calcul de  $DEL^t$ ,  $DNE^t$ \*)

CALEL (\*calcul de  $ELE(i)$ \*)

CALEL (\*calcul de  $NELE(j)$ \*)



Vérification des contraintes

SI BOOL = VRAI

ALORS SOLUTI (\*impression solution numérique\*)

SOLPA (\*impression solution paramétrique\*)

quitter le programme

(\*traitement sous-cas 1\*)

CADEDN (\*calcul  $DEL^t$ \*)

CADEDN (\*calcul  $DNE^t$ \*)

VERSOL (BOOL) (\*vérification des contraintes\*)

SI BOOL = VRAI

ALORS SOLUTI (\*impression solution numérique\*)

SOLPA2 (\*impression solution paramétrique\*)

quitter le programme

(\*traitement sous-cas 2\*)

CADEDN (\*calcul de la valeur de  $DEL^t$  \*)

CADEDN (\*calcul de la valeur de  $DNE^t$  et de  
NELE(j)\*)

VERSO2 (BOOL) (\*vérification des contraintes\*)

SI BOOL = VRAI

ALORS SOLUTI (\*impression solution numérique\*)

SOLPA3 (\*impression solution paramétrique\*)

quitter le programme

(\*traitement sous-cas 3\*)

CADEDN (\*calcul de la valeur de  $DNE^t$ \*)

CALDE (\*calcul de la valeur de  $DEL^t$  et de  
NELE(j)\*)

VERSO3 (BOOL) (\*vérification des contraintes\*)

SI BOOL = VRAI

ALORS SOLUTI (\*impression solution numérique\*)

SOLPA4 (\*impression solution paramétrique\*)

quitter le programme

Passer au cas suivant

END

## C) PROGRAMME RELATIF AUX EQUIPEMENTS NUCLEAIRES.

## PROGRAM NUCLEA

```

REAL M3,M4,M5,M10,C11,C12,C22,U3,U4,U5,U10,U11,DE
REAL K3,K4,K5,K10,PUST,URST,F3,F4,F5,F10,PUin,URin
CHARACTER*5 NOM,NOM2*10
10  FORMAT(A5)
    WRITE(5,*)'nom du FICHIER RESULTAT'
    READ(5,10)NOM
    NOM2=NOM/' '.TXT.'
    OPEN(UNIT=40,FILE=NOM2)
    M3=740.7
    M4=740.7
    M5=740.7
    M10=-0.036
    C11=0.615
    C12=0.0057
    C22=0.0026
    U3=0.75
    U4=0.75
    U5=0.75
    U10=0.98
103  FORMAT(1X,' C3(T-1)=',$)
104  FORMAT(1X,' C4(T-1)=',$)
105  FORMAT(1X,' C5(T-1)=',$)
1010  FORMAT(1X,' C10(T-1)=',$)
1012  FORMAT(1X,' PUST=',$)
1013  FORMAT(1X,' URST=',$)
    WRITE(5,*)'*****'
    WRITE(5,*)'* CE PROGRAMME VOUS REND L'UTILISATION OPTIMALE *'
    WRITE(5,*)'* D'EQUIPEMENTS ENERGETIQUES,ETANT DONNEES LES *'
    WRITE(5,*)'* CAPACITES MAXIMALES DE CHACUN ET L'ETAT DES *'
    WRITE(5,*)'* STOCKS(PUST ET URST) *'
    WRITE(5,*)'*****'
    WRITE(5,*)' '
    WRITE(5,*)' '
    WRITE(5,*)'*****'
    WRITE(5,*)'*          HYPOTHESES: *'
    WRITE(5,*)'*          ----- *'
    WRITE(5,*)'* 1) L'UTILISATION DES EQUIPEMENTS NUCLEAIRES DANS *'
    WRITE(5,*)'*    LA SATISFACTION DE LA DEMANDE ELECTRIQUE EST *'
    WRITE(5,*)'*    FAITE EN PREMIER LIEU ET INDEPENDEMMENT DES *'
    WRITE(5,*)'*    AUTRES EQUIPEMENTS.DE PLUS, IL PARAIT RAISON- *'
    WRITE(5,*)'*    NABLE DE SUPPOSER QUE CES EQUIPEMENTS NE PEU- *'
    WRITE(5,*)'*    VENT SEULS SATISFAIRE LA DEMANDE ELECTRIQUE. *'
    WRITE(5,*)'* *'
    WRITE(5,*)'* 2) LES EQUIPEMENTS NUCLEAIRES SERONT UTILISES AU *'
    WRITE(5,*)'*    MAXIMUM DE LEURS CAPICITES SI C'EST POSSIBLE, *'
    WRITE(5,*)'*    C'EST-A-DIRE SI LES CONTRAINTES DE STOCK ET LA *'
    WRITE(5,*)'*    DISPONIBILITE D'URANIUM LE PERMETTENT. *'
    WRITE(5,*)'* *'
    WRITE(5,*)'* 3) F3(T)(FBR) EST TOUJOURS UTILISE AU MAXIMUM DE *'
    WRITE(5,*)'*    SA CAPACITE (F3=U3*C3(T-2)) CAR IL CONTRIBUE *'
    WRITE(5,*)'*    UNIQUEMENT A AUGMENTER LE STOCK DE PLUTONIUM. *'
    WRITE(5,*)'* *'
    WRITE(5,*)'*****'
    WRITE(5,*)' '
    WRITE(5,*)'*****'

```



```

WRITE(5,*)'* SAISIE DES DONNEES *'
WRITE(5,*)'*****'
WRITE(5,*)' '
WRITE(5,*)'INDIQUEZ POUR CHAQUE EQUIPEMENT, SA CAPACITE MAXIMALE'
WRITE(5,*)' '
WRITE(5,*)'EQUIPEMENT NUM-3-:FBR(GW)'
WRITE(5,103)
READ(5,*)K3
WRITE(5,*)'EQUIPEMENT NUM-4-:PWR(GW)'
WRITE(5,104)
READ(5,*)K4
WRITE(5,*)'EQUIPEMENT NUM-5-:HTR(GW)'
WRITE(5,105)
READ(5,*)K5
WRITE(5,*)'EQUIPEMENT NUM-10-:NUEX(TONNES)'
WRITE(5,1010)
READ(5,*)K10
WRITE(5,*)' '
WRITE(5,*)'INDIQUEZ L'ETAT ACTUEL DES STOCKS'
WRITE(5,*)' '
WRITE(5,*)'STOCK DE PLUTONIUM:(KGS)'
WRITE(5,1012)
READ(5,*)PUST
WRITE(5,*)'STOCK D'URANIUM:(TONNES)'
WRITE(5,1013)
READ(5,*)URST
F3=U3*K3
F4=U4*K4
PUin=1340*F4
URin=0
write(5,*)'200'
F5=U5*K5
F10=0
IF (URST-1200*F5.GT.0.AND.F3+F4+F5.LT.M5/(2*C11)
* .AND.PUST-1.8*PUin+5.5*URin+1450*F3.GT.0) 300,400

300 WRITE(40,*)'*****'
WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
WRITE(40,*)'*****'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
WRITE(40,*)'-----'
WRITE(40,*)' PRODUIRE:'
WRITE(40,*)' F3(T)= U3 * C3(T-2)'
WRITE(40,*)' F4(T)= U4 * C4(T-2)'
WRITE(40,*)' F5(T)= U5 * C5(T-2)'
WRITE(40,*)' PUin= 1340 * U4 * C4(T-2)'
WRITE(40,*)' F10(T)=URin= 0'
WRITE(40,*)' Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+U5*C5(T-2)'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI
WRITE(40,*)'
*' M3'
WRITE(40,*)
*' 1) U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + U5 * C5(T-2) < -----'
WRITE(40,*)
*' 2 * C11'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)
*' 2) PUST(T-1) - 2412 * U4 * C4(T-2) + 1450 * U3 * C3(T-2) > 0'

```

```

WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'      3) URST(T-1) - 1200 * U5 * C5(T-2) ≥ 0'
WRITE(40,*)' '
GO TO 2000

400  F10=(1200*F5-URST)/5
      PUin=1340*F4
      WRITE(40,*)'400'
      IF (0.LT.F10.AND.F10.LT.K10.AND.F3+F4+F5.LT.
* (M5+240)/(2*C11).AND.PUST-2412*F4+1450*F3
* .GT.0) 500,600

500  WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
      WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
      WRITE(40,*)'-----'
      WRITE(40,*)'  PRODUIRE:'
      WRITE(40,*)'    F3(T)= U3 * C3(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F4(T)= U4 * C4(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F5(T)= U5 * C5(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F10(T)= (1200 * U5 * C5(T-2)-URST(T-1))/5'
      WRITE(40,*)'    PUin= 1340 * U4 * C4(T-2)'
      WRITE(40,*)'    URin= 0'
      WRITE(40,*)'    Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+U5*C5(T-2)'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)'  1) 0 ≤ 1200 * U5 * C5(T-2) - URST(T-1) ≤ K10'
      WRITE(40,*)'  2) PUST(T-1) + 1450 * U3 * C3(T-2) - 2412 * U4 *
* C4(T-2) ≥ 0'
      WRITE(40,*)' '
      * M5 + 240 * M10'
      WRITE(40,*)'  3) U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + U5 * C5(T-2) ≥
* -----'
      WRITE(40,*)' '
      * 2 * C11'
      WRITE(40,*)' '
      GO TO 2000
      WRITE(40,*)'500'
600  F5=(5*K10+URST)/1200
      F10=K10
      PUin=1340*F4
      URin=0
      WRITE(40,*)'600'
      IF (0.LT.F5.AND.F5.LT.U5*K5.AND.F3+F4+F5.LT.
* (M5+240)/(2*C11).AND.PUST-2412*F4+1450*F3
* .GT.0) 700,800

700  WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
      WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
      WRITE(40,*)'-----'
      WRITE(40,*)'  PRODUIRE:'
      WRITE(40,*)'    F3(T)= U3 * C3(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F4(T)= U4 * C4(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F10(T)= K10'
      WRITE(40,*)'                    5*K10 + URST(T-1)'

```



```

WRITE(40,*)' F5(T)= -----'
WRITE(40,*)' 1200'
WRITE(40,*)' PUin= 1340 * U4 * C4(T-2)'
WRITE(40,*)' URin= 0'
WRITE(40,*)' Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+F5(T) '
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'
* 1) PUST(T-1) - 2412 * U4 * C4(T-2) + 1450 * U3 * C3(T-2) > 0'
WRITE(40,*)
* 5*K10 + URST(T-1)
* M5 + 240 * M10'
WRITE(40,*)
* 2) U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + ----- <
*-----'
WRITE(40,*)
* 1200
* 2 * C11'
GO TO 2000

800 F5=U5*K5
F4=U4*K4
F10=0
URin=(-PUST-1450*F3+2412*F4)/17.74
PUin=1340*F4-6.8*URin
WRITE(40,*)'800'

IF (URST-4.15*URin-1200*F5.GT.0.AND.-PUST
* -1450*F3+2412*F4.GT.0.AND.(F3+F4+F5).LT.
* (M5/2*C11)) 900,1000

900 WRITE(40,*)'*****'
WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
WRITE(40,*)'*****'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
WRITE(40,*)'-----'
WRITE(40,*)' PRODUIRE:'
WRITE(40,*)' F3(T)= U3 * C3(T-2)'
WRITE(40,*)' F4(T)= U4 * C4(T-2)'
WRITE(40,*)' F5(T)= U5 * C5(T-2)'
WRITE(40,*)'
* -PUST(T-1) - 1450 * U3 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2)'
WRITE(40,*)
* URin= -----'
WRITE(40,*)' 17,74'
WRITE(40,*)' PUin= 1340 * U4 * C4(T-2) - 6,8 * URin'
WRITE(40,*)' F10(T)= 0'
WRITE(40,*)' Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+U5*C5(T-2) '
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'
* 1) URST(T-1) - 4,15 * URin - 1200 * U5 * C5(T-2) > 0'
WRITE(40,*)
* 2) -PUST(T-1) - 1450 * U3 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2) > 0'
WRITE(40,*)
*
WRITE(40,*)

```

```

* 3)  $U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + U5 * C5(T-2) \leq$  -----'
WRITE(40,*)
*
2 * C11'

1000 GO TO 2000
      F4=U4*K4
      F5=U5*K5
      URin=(-PUST-1450*F3+2412*F4)/17.74
      PUin=1340*F4-6.8*URin
      F10=(4.15*URin+1200*F5-URST)/5
      WRITE(40,*)'1100'
      IF (O.LT.F10.AND.F10.LT.K10.AND.
* F3+F4+F5.LT.(M5+240*M10)/(2*C11).AND.
* -PUST-1450*F3+2412*F4.GT.0) 1200,1300

1200 WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
      WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
      WRITE(40,*)'-----'
      WRITE(40,*)'  PRODUIRE:'
      WRITE(40,*)'    F3(T)= U3 * C3(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F4(T)= U4 * C4(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F5(T)= U5 * C5(T-2)'
      WRITE(40,*)'    PUin= 1340 * U4 * C4(T-2)-6,8*URin'
      WRITE(40,*)
*      -PUST(T-1) - 1450 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2)'
      WRITE(40,*)
*      URin= -----'
      WRITE(40,*)'                                17,74'
      WRITE(40,*)
*      F10(T)= (1200 * C5(T-2) + 4,15 * URin - URST(T-1))/5'
      WRITE(40,*)'    Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+U5*C5(T-2) '
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)
*      1) -PUST(T-1) - 1450 * U3 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2)  $\geq$  0'
      WRITE(40,*)
*      2) 0  $\leq$  (1200 * U5 * C5(T-2) + 4,15 * URin - URST(T-1))/5  $\leq$  K10'
      WRITE(40,*)
*
M5 + 240*M10'
      WRITE(40,*)
*      3)  $U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + U5 * C5(T-2) \leq$  ----- '
      WRITE(40,*)
*
2 * C11'

      GO TO 2000

1300 URin=(-PUST-1450*F3+2412*F4)/17.74
      F10=K10
      F4=U4*K4
      PUin=1340*F4-6.8*URin
      F5=(5*F10+URST-4.15*URin)/1200
      IF (F3+F4+F5.LT.(M5+240*M10)/2*C11.
* AND.O.LT.F5.AND.F5.LT.U5*K5.
* AND.URin.GT.0) 1350,1400
      WRITE(40,*)'1300'

```



```

1350  WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
      WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
      WRITE(40,*)'-----'
      WRITE(40,*)'  PRODUIRE:'
      WRITE(40,*)'    F3(T)= U3 * C3(T-3)'
      WRITE(40,*)'    F4(T)= U4 * C4(T-4)'
      WRITE(40,*)
      *'      -PUST(T-1) - 1450 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2)'
      WRITE(40,*)
      *'      URin= -----'
      WRITE(40,*)'                                17,74'
      WRITE(40,*)'    F5(T)= (5 * K10 + URST(T-1) - 4,15 * URin)/1200'
      WRITE(40,*)'    PUin= 1340 * U4 * C4(T-2) - 6,8 * URin'
      WRITE(40,*)'    F10(T)= K10'
      WRITE(40,*)'    Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+F5(T) '
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)
      *'  1) -PUST(T-1) - 1450 * U3 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2) > 0'
      WRITE(40,*)
      *'  2) 0 < 5 * K10 + URST(T-1) - 4,15 * URin < 1200 * U5 * C5(T-2)'
      WRITE(40,*)
      *'                                M5 + 240 * M10'
      WRITE(40,*)
      *'  3) U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + F5(T) < -----'
      WRITE(40,*)
      *'                                2 * C11'
      GO TO 2000

1400  F10=K10
      F5=0
      URin=(URST+5*F10)/4.15
      PUin=(PUST+5.5*URin+1450*F3)/1.8
      F4=(PUin+6.8*URin)/1340
      IF (2*C11*(F3+F4).LT.(M10+0.009*M4)/0.009.
      * AND. 0.LT.(PUin+6.8*URin)/1340.
      * AND.(PUin+6.8*URin)/1340.LT.U4*K4) THEN
1450  WRITE(40,*)'1400'
      WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)'* CONCLUSIONS *'
      WRITE(40,*)'*****'
      WRITE(40,*)' '
      WRITE(40,*)'SOLUTION ALGEBRIQUE'
      WRITE(40,*)'-----'
      WRITE(40,*)'  PRODUIRE:'
      WRITE(40,*)'    F3(T)= U3 * C3(T-2)'
      WRITE(40,*)'    F10(T)= K10'
      WRITE(40,*)'    F5(T)= 0'
      WRITE(40,*)'      URST(T-1) + 5 * K10'
      WRITE(40,*)'    URin= -----'
      WRITE(40,*)'          4,15'
      WRITE(40,*)'      PUST(T-1) + 5,5 * URin + 1450 * U3*C3(T-2)'
      WRITE(40,*)'    PUin= -----'
      WRITE(40,*)'          1,8'
      WRITE(40,*)'      PUin + 6,8 * URin'
      WRITE(40,*)'    F4(T)= -----'

```

```

WRITE(40,*)'                                     1340'
WRITE(40,*)' Q=U3*C3(T-2)+F4(T) '
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)' CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'                                     PUin + 6,8 * URin'
WRITE(40,*)' 1) 0 ≤ ----- ≤ K10'
WRITE(40,*)'                                     1340'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'
* '                                     PUin + 6,8 * URin   M3 + 0,009 * M4'
WRITE(40,*)'
* ' 2) U3 * C3(T-2) + ----- 2 -----
* -----'
WRITE(40,*)'
* '                                     1340
*                                     3,11 * C11'
GO TO 2000
END IF
1900 WRITE(5,*)'*****'
WRITE(5,*)'* CONCLUSION *'
WRITE(5,*)'*****'
WRITE(5,*)' '
WRITE(5,*)'LA SOLUTION OBTENUE EST SANS SIGNIFICATION'
WRITE(5,*)'CAR ELLE SUPPOSE QUE LA DEMANDE ELECTRIQUE'
WRITE(5,*)'EST SATISFAITE.'
WRITE(5,*)' '
GO TO 5000
2000 PUST=PUST+5.5*URin-1.8*PUin+1450*F3
URST=URST+5*F10-4.15*URin-1200*F5

WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,*)'SOLUTION REELLE'
WRITE(40,*)'-----'
WRITE(40,*)' '
WRITE(40,2300)F3
WRITE(40,2400)F4
WRITE(40,2500)F5
WRITE(40,3000)F10
WRITE(40,3200)PUin
WRITE(40,3300)URin
WRITE(40,3400)PUST
WRITE(40,3500)URST
DE=F3+F4+F5
OPEN(UNIT=30,FILE='DEMELE.DAT')
WRITE(30,*)DE
CLOSE(30)
CLOSE(40)
2300 FORMAT (1X,'F3(T)= ',F,' GW' )
2400 FORMAT (1X,'F4(T)= ',F,' GW' )
2500 FORMAT (1X,'F5(T)= ',F,' GW' )
3000 FORMAT (1X,'F10(T)= ',F,' TONNES' )
3200 FORMAT (1X,'PUin= ',F,' KGS' )
3300 FORMAT (1X,'URin= ',F,' TONNES' )
3400 FORMAT (1X,'PUST= ',F,' KGS' )
3500 FORMAT (1X,'URST= ',F,' TONNES' )
5000 WRITE (5,*)'FIN'
END

```

D)EXEMPLES

## EXEMPLE-1

\*\*\*\*\*  
 \* SAISIE DES DONNEES \*  
 \*\*\*\*\*

INDIQUEZ POUR CHAQUE EQUIPEMENT, SA CAPACITE MAXIMALE

EQUIPEMENT NUM-3-:FBR(GWY)  
 C3(T-1)=1 00  
 EQUIPEMENT NUM-4-:PWR(GWY)  
 C4(T-1)=1 00  
 EQUIPEMENT NUM-5-:HTR(GWY)  
 C5(T-1)=1 00  
 EQUIPEMENT NUM-10-:NUEX(TONNES)  
 C10(T-1)=1 00000

INDIQUEZ L'ETAT ACTUEL DES STOCKS

STOCK DE PLUTONIUM:(KGS)  
 PUST(T-1)=0

STOCK D'URANIUM:(TONNES)  
 URST(T-1)=100000

CAPACITE HCLIQ:(GWY)  
 UR(1)\*C1(T-1)=1 50

CAPACITE HCPWS:(PCAL)  
 UR(2)\*C2(T-1)=2 000

CAPACITE HCTRD:(TONNES)  
 K8=2 00

CAPACITE HCEX:(TONNES)  
 K9=21 00

CAPACITES ET COUTS DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

CELE(1)=2 00  
 TEQE(1)=73 5  
 CELE(2)=1 50  
 TEQE(2)=72 0  
 CELE(3)=1 50  
 TEQE(3)=71 0

CAPACITE ET COUT DES EQUIPEMENTS NON ELECTRIQUES

CNELE(1)=1 500  
 TEQN(1)=45  
 CNELE(2)=1 400  
 TEQN(2)=38  
 CNELE(3)=1 500  
 TEQN(3)=25

\*\*\*\*\*  
 \* CONCLUSIONS \*  
 \*\*\*\*\*

SOLUTION PARAMETRIQUE

PRODUIRE:

F3(T)= U3 \* C3(T-2)  
 F4(T)= U4 \* C4(T-2)  
 F5(T)= U5 \* C5(T-2)

PUin= 1340 \* U4 \* C4(T-2)-6,8\*URin  
 -PUST(T-1) - 1450 \* C3(T-2) + 2412 \* U4 \* C4(T-2)



URin= -----

17,74  
 $F10(T) = (1200 * C5(T-2) + 4,15 * URin - URST(T-1))/5$   
 $Q = U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + U5 * C5(T-2)$   
 $DN = CNELE(1.) + CNELE(2.) + (C8 + C9) * CE2$   
 $720.00 - 2 * C12 * DN$

DE=-----

2 \* C11  
 $ELE(1.) = CELE(1.)$   
 $NELE(1.) = CNELE(1.)$   
 $NELE(2.) = CNELE(2.)$   
 $ELE(2.) = DE - CELE(1.) - Q$   
 $F1(T) = 0$   
 $F2(T) = (K8 + K9) * CE2$   
 $F8(T) = K8$   
 $F9(T) = K9$   
 CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI

- 1)  $-PUST(T-1) - 1450 * U3 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2) \geq 0$
- 2)  $0 \leq (1200 * U5 * C5(T-2) + 4,15 * URin - URST(T-1))/5 \leq K10$   
 $M5 + 240 * M10$
- 3)  $U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + U5 * C5(T-2) \leq \frac{M5 + 240 * M10}{2 * C11}$
- 4)  $34.90 - 2 * C12 * DE - 2 * C22 * DN \geq 0$
- 5)  $25.00 - 2 * C12 * DE - 2 * C22 * DN \leq 0$
- 6)  $0 \leq ELE(2.) \leq CELE(2.)$
- 7)  $0 \leq F2 \leq C2$

# SOLUTION NUMERIQUE

-----

$F3(T) = 75.0000000$  GWY  
 $F4(T) = 75.0000000$  GWY  
 $F5(T) = 75.0000000$  GWY  
 $F10(T) = 1375.6763611$  TONNES  
 $PUin = 72843.8554688$  KGS  
 $URin = 4067.0800476$  TONNES  
 $PUST = 0.0000000$  KGS  
 $URST = 0.0000000$  TONNES  
 $F1(T) = 0.0000000$  GWY  
 $F2(T) = 1587.0000000$  PCAL  
 $F8(T) = 200.0000000$  TONNES  
 $F9(T) = 2100.0000000$  TONNES  
 $ELE(1.) = 200.0000000$  GWY  
 $NELE(1.) = 1500.0000000$  PCAL  
 $NELE(2.) = 1400.0000000$  PCAL  
 $ELE(2.) = 118.7790222$  GWY  
 $NELE(3.) = 0.0000000$  PCAL

## EXEMPLE-2

\*\*\*\*\*  
 \* SAISIE DES DONNEES \*  
 \*\*\*\*\*

INDIQUEZ POUR CHAQUE EQUIPEMENT, SA CAPACITE MAXIMALE

EQUIPEMENT NUM-3-:FBR(GWY)  
 $C3(T-1) = 40$

EQUIPEMENT NUM-4-:PWR(GWY)  
 C4(T-1)=60  
 EQUIPEMENT NUM-5-:HTR(GWY)  
 C5(T-1)=100  
 EQUIPEMENT NUM-10-:NUEX(TONNES)  
 C10(T-1)=10000

# INDIQUEZ L'ETAT ACTUEL DES STOCKS

STOCK DE PLUTONIUM:(KGS)  
 PUST(T-1)=500

STOCK D'URANIUM:(TONNES)  
 URST=(T-1)=5000

CAPACITE HCLIQ:(GWY)  
 UR(1)\*C1(T-1)=50

CAPACITE HCPWS:(PCAL)  
 UR(2)\*C2(T-1)=1000

CAPACITE HCTRD:(TONNES)  
 K8=1200

CAPACITE HCEX:(TONNES)  
 K9=500

## CAPACITES ET COUTS DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

CELE(1)=100

TEQE(1)=735

CELE(2)=125

TEQE(2)=730

CELE(3)=135

TEQE(3)=725

CELE(4)=50

TEQE(4)=720

CELE(5)=50

TEQE(5)=715

CELE(6)=300

TEQE(6)=710

## CAPACITE ET COUT DES EQUIPEMENTS NON ELECTRIQUES

CNELE(1)=1300

TEQN(1)=30

CNELE(2)=1400

TEQN(2)=25

CNELE(3)=1500

TEQN(3)=20

CNELE(4)=500

TEQN(4)=20

CNELE(5)=500

TEQN(5)=15

\*\*\*\*\*

\* CONCLUSIONS \*

\*\*\*\*\*

## SOLUTION PARAMETRIQUE

### PRODUIRE:

F3(T)= U3 \* C3(T-3)

F4(T)= U4 \* C4(T-4)

-PUST(T-1) - 1450 \* C3(T-2) + 2412 \* U4 \* C4(T-2)

URin= -----

17,74

F5(T)= (5 \* K10 + URST(T-1) - 4,15 \* URin)/1200

PUin= 1340 \* U4 \* C4(T-2) - 6,8 \* URin

F10(T)= K10

$$Q=U3*C3(T-2)+U4*C4(T-2)+F5(T)$$

$$DN= CNELE(1.) + CNELE(2.) +C2$$

$$715.00-2*C12*DN$$

$$DE=-----$$

$$2*C11$$

$$ELE(1.)=CELE(1.)$$

$$ELE(2.)=CELE(2.)$$

$$ELE(3.)=CELE(3.)$$

$$ELE(4.)=CELE(4.)$$

$$NELE(1.)=CNELE(1.)$$

$$NELE(2.)=CNELE(2.)$$

$$ELE(5.)=DE - CELE(1.) - CELE(2.) - CELE(3.) - CELE(4.) -Q$$

$$F1(T)= 0$$

$$F2(T)= C2$$

$$F8(T)= C8$$

$$F9(T)= C2/CE2-C8$$

CETTE SOLUTION EST OPTIMALE SI

$$1) -PUST(T-1) - 1450 * U3 * C3(T-2) + 2412 * U4 * C4(T-2) \stackrel{3}{=} 0$$

$$2) 0 \stackrel{2}{\leq} 5 * K10 + URST(T-1) - 4,15 * URin \stackrel{2}{\leq} 1200 * U5 * C5(T-2)$$

$$M5 + 240 * M10$$

$$3) U3 * C3(T-2) + U4 * C4(T-2) + F5(T) \stackrel{2}{\leq} -----$$

$$2 * C11$$

$$4) 25.00-2*C12*DE-2*C22*DN \stackrel{3}{=} 0$$

$$5) 20.00-2*C12*DE-2*C22*DN \stackrel{2}{\leq} 0$$

$$6) 0 \stackrel{2}{\leq} ELE(5.) \stackrel{2}{\leq} CELE(5.)$$

$$7) 0 \stackrel{2}{\leq} F9 \stackrel{2}{\leq} C9$$

SOLUTION NUMERIQUE

-----

F3(T)=	30.0000000 GWY
F4(T)=	45.0000000 GWY
F5(T)=	29.5015502 GWY
F10(T)=	10000.0000000 TONNES
PUin=	35560.8793945 KGS
URin=	3638.1059875 TONNES
PUST=	0.0000000 KGS
URST=	-0.0001221 TONNES
F1(T)=	0.0000000 GWY
F2(T)=	1000.0000000 PCAL
F8(T)=	1200.0000000 TONNES
F9(T)=	249.2753601 TONNES
ELE(1.)=	100.0000000 GWY
ELE(2.)=	125.0000000 GWY
ELE(3.)=	135.0000000 GWY
ELE(4.)=	50.0000000 GWY
NELE(1.)=	1300.0000000 PCAL
NELE(2.)=	1400.0000000 PCAL
ELE(5.)=	32.5065269 GWY
NELE(3.)=	0.0000000 PCAL
ELE(6.)=	0.0000000 GWY